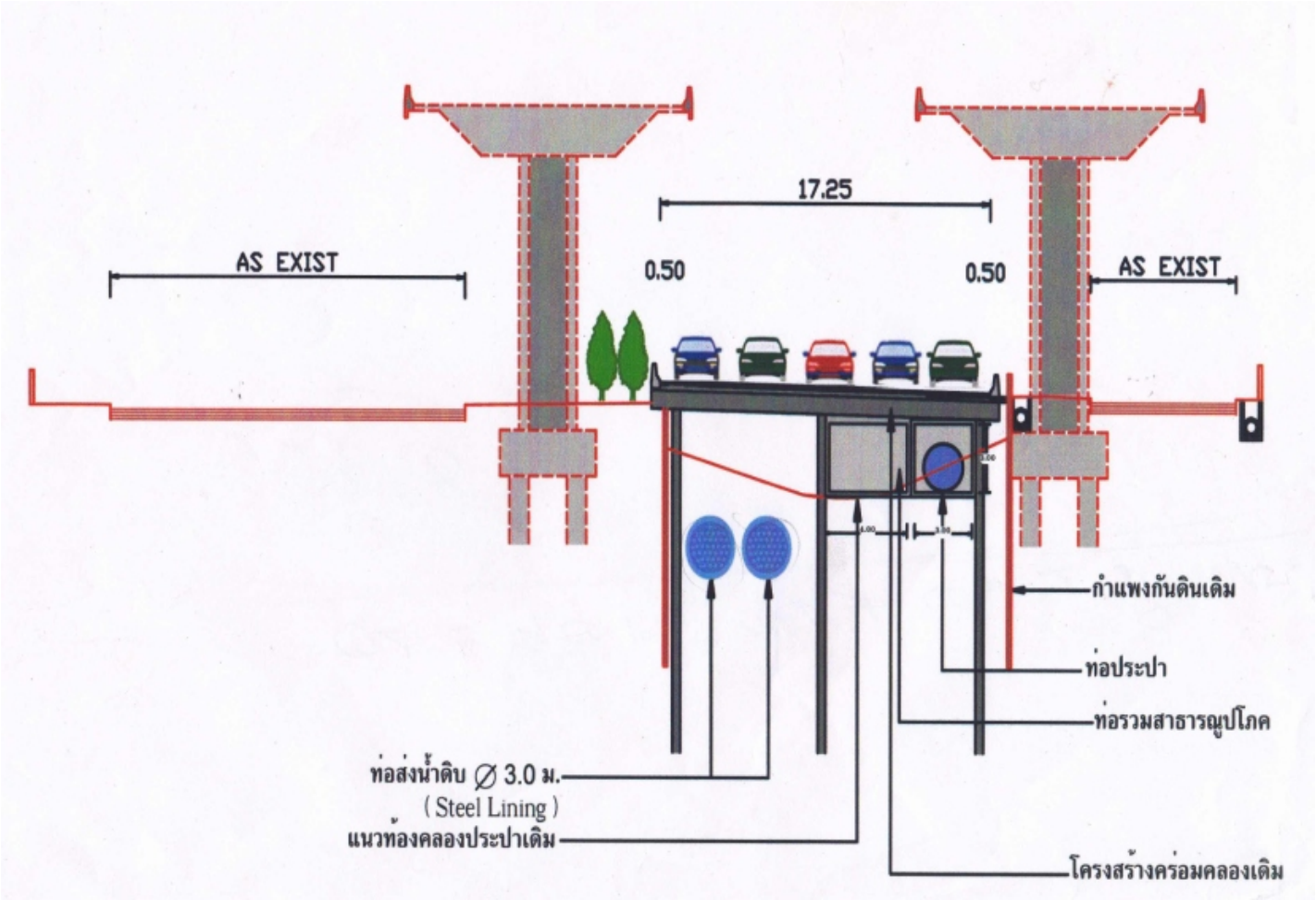
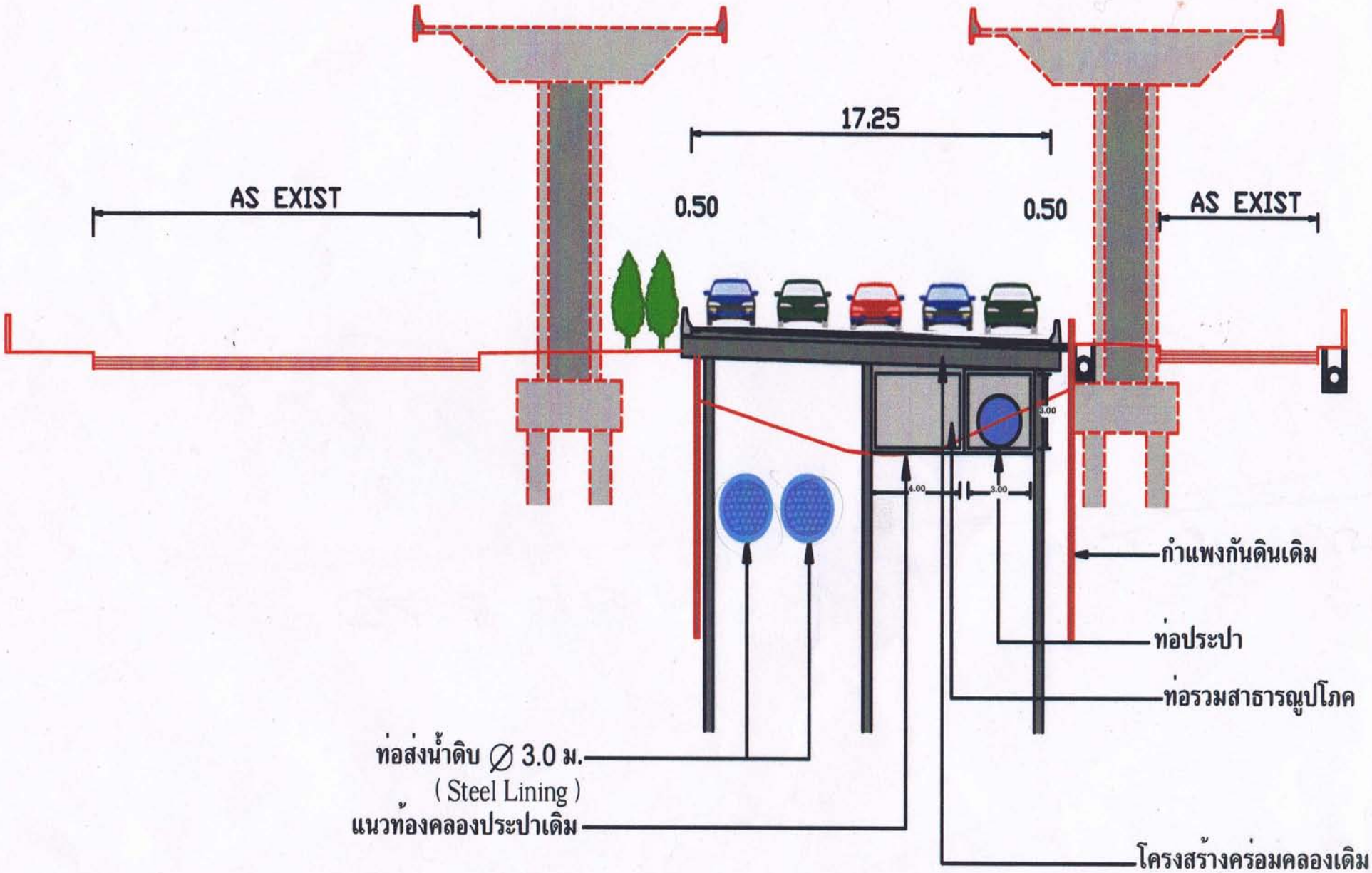
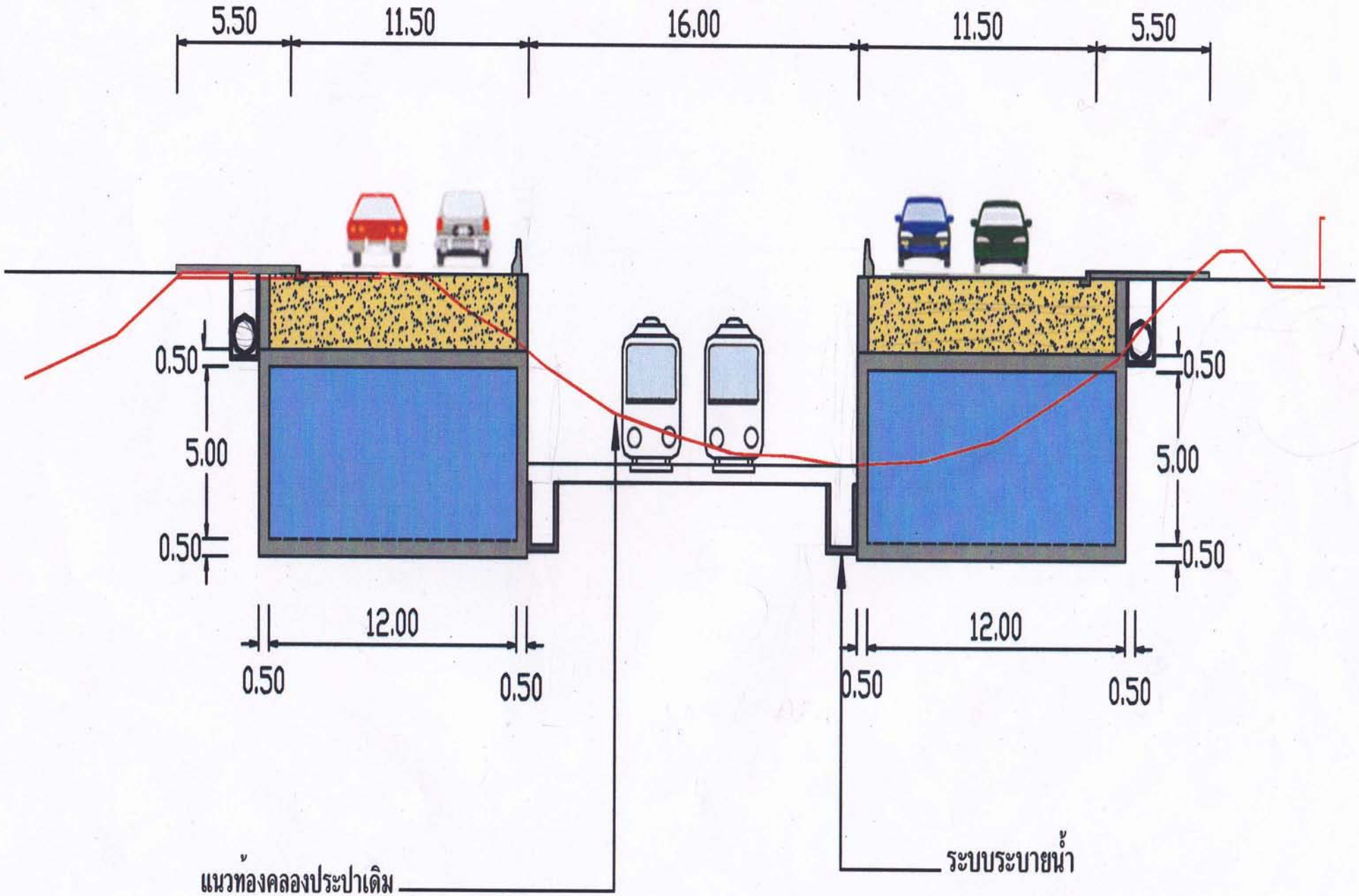
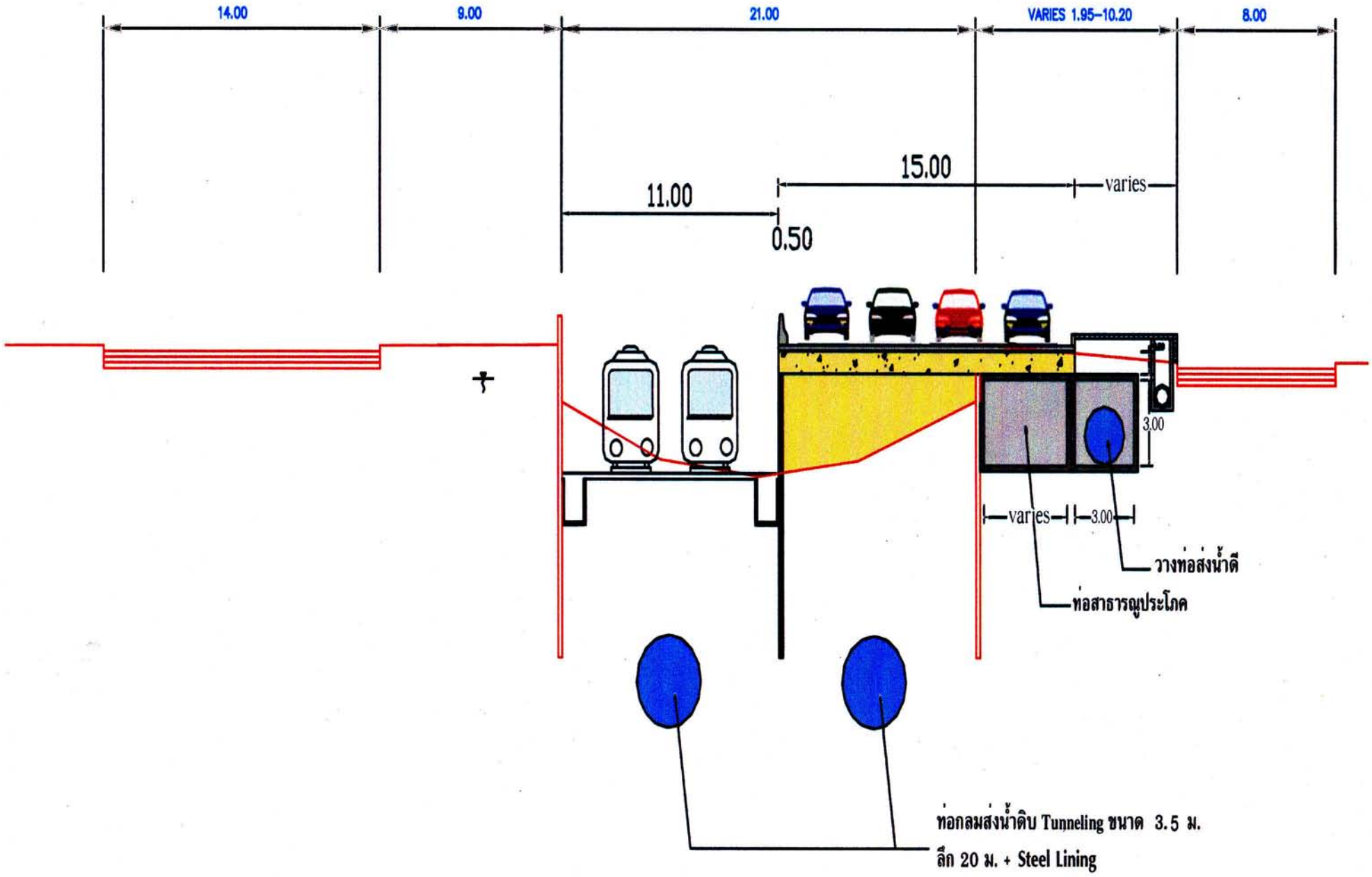
การออกแบบระบบระบายน้ำฝน
พร้อมตัวอย่างรายการคำนวน




17.25
AS EXIST
0.50
0.50
AS EXIST
3.00
4.00
3.00
กำแพงกันดินเดิม
ท่อประปา
ท่อรวมสาธารณูปโภค
ท่อส่งน้ำดิบ ∅ 3.0 ม.
(Steel Lining)
แนวท้องคลองประปาเดิม
โครงสร้างคร่อมคลองเดิม


5.50
11.50
16.00
11.50
5.50
0.50
5.00
0.50
12.00
0.50
0.50
0.50
5.00
0.50
12.00
0.50
0.50
แนวท้องคลองประปาเดิม
ระบบระบายน้ำ


14.00
9.00
21.00
VARIES 1.95–10.20
8.00
15.00
varies
11.00
0.50
3.00
varies
3.00
วางท่อส่งน้ำดี
ท่อสาธารณูประโภค
ท่อกลมส่งน้ำดิบ Tunneling ขนาด 3.5 ม.
ลึก 20 ม. + Steel Lining

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบการระบายน้ำของถนน

การระบายน้ำออกจากบริเวณถนนเป็นสิ่งสำคัญควบคู่ไปกับการออกแบบและความหนาของสันถนน ถนนที่มีระบบการระบายน้ำที่ดีจุดคงทน และมีอายุการใช้งานนานตามกำหนด และช่วยลดอุบัติเหตุเนื่องจากถนนลื่นเพราะน้ำขังบนถนน

1. การระบายน้ำออกจากตัวถนน คือ วิธีการควบคุมให้น้ำไหลออกไปจากถนนโดยเร็ว ทั้งจากบนผิวถนนและจากใต้คันทาง ถนนที่มีระบบการระบายน้ำไม่ดี จะมีน้ำขังบนผิวถนน น้ำที่ขังอยู่นี้จะซึมลงใต้ผิวถนนทำให้เกิดความเสียหาย เมื่อรับน้ำหนักจากยานพาหนะ น้ำบนผิวถนนส่วนใหญ่ คือน้ำฝน เมื่อฝนตกลงมาบนถนนน้ำจะซึมลงใต้ผิวทางส่วนหนึ่ง ส่วนที่เหลือจะไหลออกทางไหล่ทาง ผ่านลาดด้านข้างถนน (Side Slope) ลงสู่คูข้างทาง (Side Ditch) ซึ่งระบายน้ำต่อไปยังคลองและแม่น้ำ ถ้าถนนมี Slope ลาดเพียงพอที่น้ำสามารถไหลออกจากผิวได้เร็วพอ โอกาสที่น้ำซึงลงใต้ผิวทางก็น้อยลง โอกาสที่ถนนพังเนื่องจากชั้นทางใต้ผิวทางลาดความแข็งแรงลง เนื่องจากน้ำก็น้อยลงด้วย ผิวถนนมีหลายชนิด ได้แก่ ผิวดินธรรมดา ผิวลูกรัง ผิวแอสฟัลท์ และผิวคอนกรีต ดังนั้น ความลาดชันของ Slope ผิวถนนที่ทำให้น้ำไหลออกจากผิวทางได้เร็วมากน้อยก็แตกต่างกันไปตามลักษณะของวัสดุผิวทางด้วย ผิวทางที่เป็นดินลูกรัง หรือ Soil Aggraegate ต้องมียอดโค้งหลังเต่าของถนน (Crown) สูงมาก

2. การพิจารณาตำแหน่งของการระบายน้ำ (Location Consideration) จะต้องเริ่มต้นจากแนวทางของถนนที่เราได้กำหนดลงไป โดยคำนึงถึงการระบายน้ำตามธรรมชาติ แหล่งเกิดของน้ำธรรมชาติ พิจารณาลำน้ำที่ตัดผ่านแนวทาง และจะต้องพิจารณาถึงชั้นดินภายใต้ผิวถนน เพื่อจะได้จากการระบายน้ำได้ง่ายขึ้น เพราะเราจะหลีกเลี่ยงปัญหาการบำรุงรักษา

3. สำรวจเพื่อการระบายน้ำ (Drains Surveying) เป็นการสำรวจเพื่อทราบถึงตำแหน่งของแต่ละน้ำที่ผ่านถนน เพื่อที่จะได้พิจารณาถึงระบบของการระบายน้ำที่จะใช้ โดยเฉพาะจะต้องสำรวจครอบคลุมถึงภูมิประเทศที่ถนนนั้นตัดผ่านเป็นป่าภูเขาหรือที่ราบ และเพื่อที่จะได้ข้อมูลพอเพียง เราจะต้องทราบถึงกระแสน้ำป่าที่เราจะเป็นจะต้องกำจัดออกจากพื้นผิวทาง

ความต่างระดับ และระยะทางไหลของน้ำท่า

ในแต่ละพื้นที่รับน้ำ ปริมาณ และความเร็วของน้ำท่าจะไหลบ่ามายังปากทางอาคารระบายน้ำ แล้วผ่านออกไปทางด้านท้ายน้ำขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศเป็นสำคัญ โดยเฉพาะความต่างระดับ ซึ่งหมายถึงความสูงระหว่างตำแหน่งต้นน้ำที่แตกต่างกับตำแหน่งตรงปากทางระบาย หากต่างระดับมากความเร็วของน้ำก็จะมีแนวโน้มสูงขึ้น หรือกลับกัน อีกปัจจัยหนึ่ง คือระยะทาง ระหว่างต้นน้ำในพื้นที่รับน้ำ ไปยังปากทางเข้าอาคารระบายน้ำ หากระยะทางไกลขนาดอาคารระบายน้ำอาจไม่จำต้องใหญ่หรือไม่จำเป็นต้องมีความจุมากนัก เพราะน้ำใช้เวลาในการไหลค่อนข้างนาน อาจซึมโดยผิวดินไปส่วนหนึ่ง หรือความเร็วในการไหลลดน้อยลง หรือกลับกัน

ปกติระยะทางระหว่างจุดที่น้ำเริ่มต้นไหลบ่าไปยังปากทางเข้าอาคารระบายน้ำ จะมีหน่วยเป็นเวลา (Time concentration) ซึ่งมีนัยเดียวกันกับระยะทาง กล่าวคือ หากเวลามาก หรือใช้เวลานาน น้ำที่ไหลบ่าไปถึงปากทางเข้าอาคารระบายน้ำมีแนวโน้มที่จะมีความเร็วต่ำ หรือปริมาณน้อย (หากพื้นผิวภูมิประเทศซึมซับน้ำได้บ้าง) อาคารระบายน้ำอาจไม่จำเป็นต้องมีขนาดหรือความจุมากนักหรือกลับกัน

Time concentration คำนวณดังนี้

$$T_c = \left(0.85\, x\, \frac{L^3}{H} \right)^{0.385} \qquad \text{..... (1)}$$

โดยที่ T_c = Time concentration, ชั่วโมง

L = ความยาวของพื้นที่รับน้ำ, กิโลเมตร

H = ความต่างระดับระหว่างตำแหน่งที่อยู่ห่างจากปากทางเข้าอาคารระบายน้ำกับระดับที่ปากทางเข้าของอาคารระบายน้ำ, เมตร

ลักษณะการไหลในท่อ เมื่อจำแนกพิจารณาตามการเปลี่ยนแปลงความเร็วเทียบกับเวลาและสถานที่มีดังนี้

1. **การไหลแบบคงที่** (Steady Flow) คือการไหลที่มีความเร็วของการไหลที่จุดใดจุดหนึ่งไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา
2. **การไหลแบบไม่คงที่** (Unsteady Flow) คือการไหลที่มีความเร็วของการไหลที่จุดใดจุดหนึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา
3. **การไหลแบบสม่ำเสมอ** (Uniform Flow) คือการไหลที่มีความเร็วของการไหลขณะใดขณะหนึ่งไม่เปลี่ยนแปลงทั้งขนาด และทิศทางตลอดระยะทางการไหล

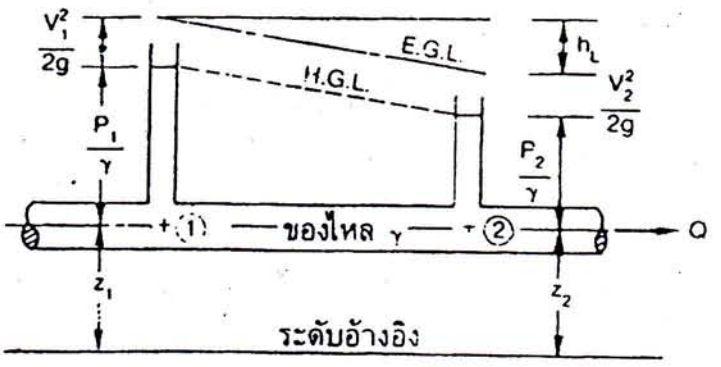
4. **การไหลแบบไม่สม่ำเสมอ** (Non- uniform Flow) คือการไหลที่มีความเร็วของการไหลขณะใดขณะหนึ่งเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและทิศทางตลอดระยะทางการไหล ซึ่งการไหลทั้ง 4 แบบนี้ส่วนมากจะพิจารณาในทางน้ำเปิด

ลักษณะการไหลในท่อ เมื่อพิจารณาในท่อ เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความเร็วเมื่อเทียบกับแรงเฉื่อยและแรงหนืดซึ่งเป็นลักษณะสำคัญของการไหลในท่อ มี 2 แบบคือ

1. การไหลแบบเรียบ (Laminar Flow) คือการไหลที่มีอนุภาคของของไหลจะไหลเป็นทางขนานกันและขนานกับท่อ (แรงหนืดมีค่าสูงกว่าแรงเฉื่อย)

2. การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) คือ การไหลที่มีอนุภาคของของไหล จะไหลอย่างสับสนแต่ทิศทางของการเคลื่อนที่เฉลี่ยของการไหลทั้งหมดก็ยังขนานไปกับท่อ ฉะนั้น ลักษณะการไหลแบบนี้จะสูญเสียพลังงานมาก การไหลทั้งสองนี้กำหนดได้ด้วยท่อเรโนลด์ (Renold number.Re) กล่าวคือถ้าค่าเรโนลด์น้อยกว่า 2000 (Re<2000) การไหลนั้นเป็นการไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) แต่ถ้าการไหลใดมีค่าเรโนลด์มากกว่า 4000 (Re> 4000) การไหลนั้นเป็นแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) ส่วนการไหลใดๆ มีค่าเรโนลด์อยู่ระหว่าง 2000 และ 4000 (2000 < Re < 4000) การไหลแบบนั้นเป็นการไหลแบบแปรเปลี่ยน (Transition Flow)

การสูญเสียพลังงาน สามารถอธิบายได้ด้วย สมการของเบอร์นูลี (Bernoulli's equation) ดังนี้



รูปที่ 2.1 FRICTION LOSS IN PIPE

จากรูปที่ 1 ในสมการของเบอร์นูลี เมื่อน้ำไหลผ่านท่อระหว่าง จุดที่ 1 และจุดที่ 2 จะได้

$$\frac{V_1^2}{2g}+\frac{P_1}{\gamma}+Z_1=\frac{V_2^2}{2g}+\frac{P_2}{\gamma}+Z_2+Energy_{\ Loss} \qquad \text{..... (2)}$$

เนื่องจากท่อวางอยู่ในแนวราบและมีเส้นผ่านศูนย์กลางสม่ำเสมอ

$Z_1 = Z_2$ และ $V_1 = V_2$ (จาก $\frac{Q}{A}$)

ดังนั้น การสูญเสียพลังงาน (Energy loss) = $\frac{P_1}{\gamma} = \frac{P_2}{\gamma} = \rho H$

กำหนดให้การสูญเสียพลังงาน แทนด้วย h_f

$$h_f = \frac{(P_1 - P_2)}{\gamma} \qquad \text{..... (3)}$$

โดยที่ P_1 และ P_2 คือความดันของของไหลท่อที่จุดที่ 1 และที่ 2 ตามลำดับ

γ คือ น้ำหนักจำเพาะของของไหล (นิวตันต่อลูกบาศก์เมตร)

$\gamma = \rho g$

การสูญเสียพลังงานจากแรงเสียดทาน (Friction loss)

การสูญเสียพลังงานเนื่องจากแรงเสียดทานเส้นท่อตรง คำนวณได้จากสูตร Draey- Weisbach คือ

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \qquad \text{..... (4)}$$

โดยที่ h_f คือ การสูญเสียพลังงานเนื่องจากแรงเสียดทาน บอกเป็นการสูงของของเหลว (เมตร)

f คือ สัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน (Friction of Coeffcient)

L คือ ความยาวท่อ (เมตร)

D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ (เมตร)

V คือ ความเร็วของการไหลในท่อ (เมตรต่อวินาที)

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (เมตรต่อวินาที)

ค่า f จะขึ้นอยู่กับ

1. คุณสมบัติของท่อ เช่น วัสดุที่ใช้ทำท่อ
2. ลักษณะการไหลของการไหลเป็นแบบราบเรียบ (Laminar Flow) หรือการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) สัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานหาได้จาก

. กรณีที่เป็นการไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) ได้จากสูตร

$$f = \frac{64}{\mathrm{Re}} \qquad \text{..... (5)}$$

. กรณีที่เป็นการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) ผนังท่อเรียบจากสูตร

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \left(\left(\frac{\mathrm{Re}}{2.51} \right) \sqrt{fx} \right) \qquad \text{..... (6)}$$

. กรณีเป็นการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) ผนังท่อขรุขระมาก

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \left(\frac{3}{\varepsilon} \right) \qquad \text{..... (7)}$$

. กรณีเป็นการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) ผนังท่ออยู่ระหว่าง 2 กรณี (เรียบและขรุขระ)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \left(\left(\frac{3}{\varepsilon} \right) + \left(\frac{2.51}{\mathrm{Re}} \sqrt{f} \right) \right) \qquad \text{..... (8)}$$

การคำนวณหา f ของการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) ทั้ง 3 สูตรยุ่งยากมากจึงนิยมหาค่า f จาก Moody Diagram ดังรูป 2.2 โดยใช้ร่วมกับความขรุขระ ในกรณีที่เป็นท่อใหม่สำหรับค่าความขรุขระของท่อ เมื่อใช้งานไปเรื่อยๆ ค่าความขรุขระจะมากขึ้น คำนวณได้จากสูตร และรายละเอียดแสดงในตารางที่ 2.1

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \alpha t \qquad \text{.....(9)}$$

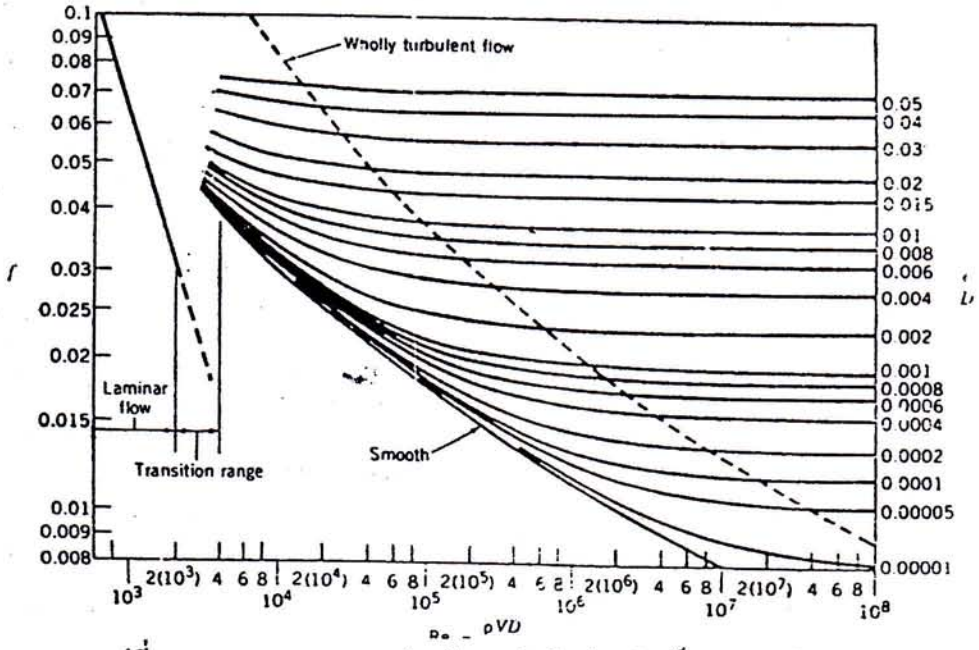
โดยที่ ε คือ ความขรุขระของท่อ เมื่อมีอายุใช้งาน t ปี (มิลลิเมตร)

ε_0 คือ ความขรุขระของท่อ เมื่อเริ่มใช้งาน

αt คือ สัมประสิทธิ์ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.0002-0.0007

ตารางที่ 2.1 ความขรุขระเฉลี่ยของผนังท่อใหม่

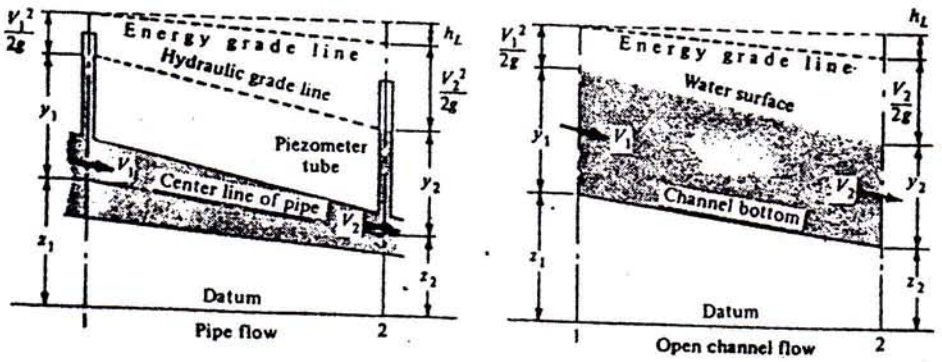
ชนิดของท่อ	เป็น ฟุต	เป็น มิลลิเมตร
ท่อแก้ว ท่อรีดจากทองเหลือง ทองแดง และตะกั่ว	เรียบ	เรียบ
ท่อเหล็กเหนียว	1.5×10^{-4}	0.045
ท่อเหล็กอาบยางมะตอย	4.0×10^{-4}	0.120
ท่อเหล็กชุบสังกะสี	5.0×10^{-4}	0.150
ท่อเหล็กหล่อธรรมดา	8.5×10^{-4}	0.260
ท่อไม้	2.0×10^{-4}	0.610
ท่อคอนกรีต	4.0×10^{-3}	1.220
ท่อเหล็กม้วนต่อด้วยหมุดย้ำ	6.0×10^{-3}	1.830
ท่อโลหะลูกฟูก	0.10-0.20	30.0-60.0
อุโมงค์ขนาดใหญ่ดาดด้วยคอนกรีตหรือเหล็ก	0.002-0.004	0.60-1.20
อุโมงค์ที่เจาะด้วยการระเบิดหิน	1.0-2.0	30.0-60.0
ท่อพีวีซี	5.0×10^{-6}	0.0015



รูปที่ 2.2 Moody Diagram สำหรับหาค่าสัมประสิทธิ์ของความฝืด

2.2 การไหลในท่อและรางเปิด

การไหลของไหลในท่ออาจไหลเป็นแบบท่อหรือแบบรางเปิดก็ได้โดยขึ้นอยู่กับระดับน้ำในท่อ ถ้าไหลเต็มท่อก็เป็นการไหลแบบท่อปิด แต่ถ้าไม่เต็มท่อก็เป็นการไหลแบบในรางเปิด (ดูรูป 2.3)



รูปที่ 2.3 การเปรียบเทียบระหว่างการไหลในท่อปิดและรางเปิด

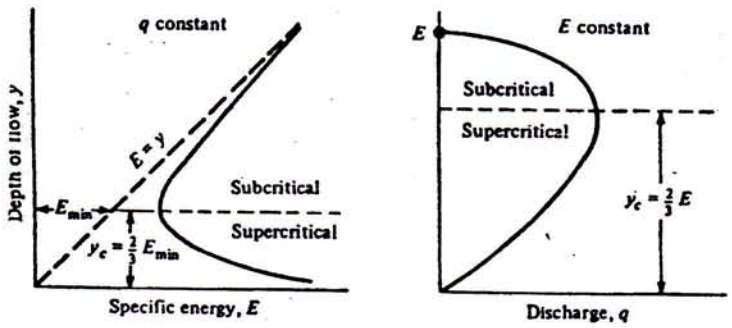
การสูญเสียหัวน้ำ (water head loss) เป็นการสูญเสียพลังงานซึ่งเกิดขึ้นเมื่อการไหลของมวลของไหล พลังงานที่ต้องการใช้ไปในการผลักดันของไหลหรือให้ชนะแรงเสียดทานนั้นก็คือ การสูญเสียหัวน้ำนั่นเอง การสูญเสียพลังงานในรูปอื่น ๆ เช่น เกิดจากการปั่นป่วนในส่วนใดส่วนหนึ่งของระบาย ก็ถือว่าเป็นการสูญเสียหัวน้ำเช่นกัน ปกติใช้สัญลักษณ์ hL เป็นเครื่องหมาย

เส้นลาดชลศาสตร์ (hydraulic grade line, HGL) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.3 เป็นเส้นที่ต่อเชื่อมระหว่างจุด (หรือระดับ) ที่ของไหลจะขึ้นไปถึง ถ้ามีการต่อท่อ Piezometer ให้จมในของไหลจากท่อปิดหรือจากรางเปิด เส้นนี้เป็นการวัดหัวความดัน (PRESSURE HEAD) ที่มีอยู่ตามจุดต่างๆสำหรับในรางเปิดเส้นลาดชลศาสตร์ ก็คือ เส้นลาดตามผิวของไหลนั้นเอง

เส้นลาดพลังงาน (energy grade line. EGL) พลังงานทั้งหมดของการไหล ณ จุดรูปตัดใด ๆ ถ้าเทียบกับจุดอ้างอิง (reference datum) หนึ่ง จะเป็นผลรวมของหัวระดับ (elevation head) Z หัวความดัน γ และหัวความเร็ว $V^2 / 2g$ เส้นที่ต่อเชื่อมระหว่างจุดพลังงานทั้งหมดคือเส้นลาดพลังงาน EGL ถ้าการไหลเป็นไปอย่างปราศจากการสูญเสียหัวน้ำเส้นลาดพลังงานก็จักเป็นเส้นตามแนวนอนแม้การกระจายพลังงานในรูปของหัวระดับ หัวความดันและหัวความเร็ว อาจแปรผันไปตามแต่ละตำแหน่งของการไหลได้อย่างไรก็ตามในความเป็นจริงในทุกระบบ จักมีการสูญเสียหัวน้ำเกิดขึ้นถ้ามีการไหลแม้แต่เพียงน้อยนิดก็ตาม และ EGL ก็จำเป็นต้องลาดลงตามขนาดของการเสียหัวน้ำนั้น ๆ

พลังงานจำเพาะ (Specific energy) พลังงานจำเพาะหรือบางครั้งเรียกว่า หัวจำเพาะ (Specific head) คือผลรวมของหัวความดัน γ และหัวความเร็ว $V^2 / 2g$ เป็นสิ่งสำคัญที่ใช้ในการวิเคราะห์การไหลในรางเปิด

ความสัมพันธ์ระหว่างหัวจำเพาะและความลึกของการไหล (flow depth) สำหรับอัตราการไหลที่คงที่ ดูได้จาก รูปที่ 2.4 ซึ่งมักจะเรียกว่า " ไดอะแกรมพลังงานจำเพาะ " ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของการไหลกับอัตราไหลต่อหน่วยความกว้างของรางเปิด สำหรับกรณีพลังงานจำเพาะคงที่เรียกกันว่า q curve ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2.4

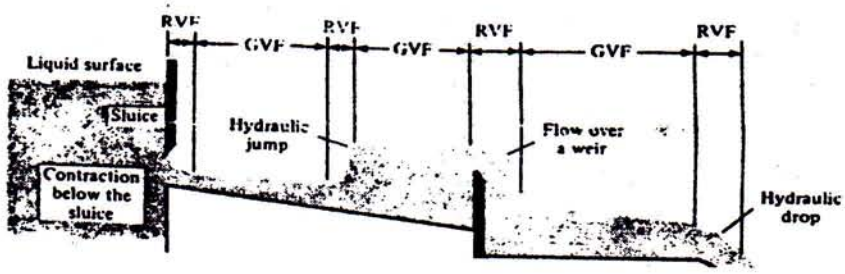


รูปที่ 2.4 (ก) ไดอะแกรมพลังงานจำเพาะ (ข) q curve

การไหลคงตัว (Steady flow) เกิดขึ้นอัตราการไหลในแต่ละรูปตัดหรือตำแหน่งของท่อหรือรางมีค่าคงที่

การไหลเป็นระเบียบและไม่เป็นระเบียบ (uniform and nonuniform flow) การไหลเป็นระเบียบ คือ การไหลที่ความลึกการไหล พื้นที่หน้าตัดของการไหลและสิ่งอื่น ๆ ของการไหลจากจุดหนึ่งไปถึงอีกจุดหนึ่งมีลักษณะคงที่ ส่วนการไหลไม่เป็นระเบียบเกิดขึ้นความลาด พื้นที่หน้าตัดไหลและความเร็ว แปรเปลี่ยนไปในแต่ละจุด แต่การไหลไม่เป็นระเบียบนี้อาจเป็นการไหลตัวได้ดังเช่น การไหลในเวนจูรี (Venturi) ซึ่งใช้สำหรับการวัดอัตราการไหล

การไหลแปรผัน (varied flow) เกิดขึ้นถ้าความลึกการไหลเปลี่ยนแปลงไปตามความยาวของราง โดยทั่วไปความลึกการไหลอาจจะเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ (gradually varied flow. GVF) เปลี่ยนแปลงได้อย่างรวดเร็ว (rapidly varied flow. RVF) ดูรูปที่ 2.4 ประกอบ



รูปที่ 2.5 ลักษณะการไหลแบบต่าง ๆ

สมการการต่อเนื่อง

สมการการต่อเนื่อง แสดงถึงการอนุรักษ์มวลจากจุดหนึ่งในท่อ (ดูรูปที่ 2.6) กล่าว คือ มวลระหว่างจุด A_1 และ A_2 จะไม่มีการเพิ่มขึ้นหรือลดลง ถ้าไม่มีปฏิกิริยาใด ๆ เกิดขึ้น ซึ่งแสดงได้โดยสมการ

$$P_1 A_1 V_1 = P_2 A_2 V_2 = P_2 Q_2 \qquad \text{.....(10)}$$

ในเมื่อ P = ความหนาแน่นของไหล, กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

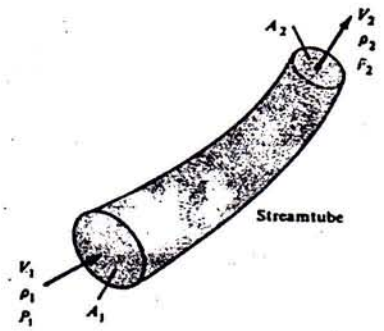
A = พื้นที่หน้าตัด, ตารางเมตร

V = ความเร็ว, เมตรต่อวินาที

Q = อัตราไหล, ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

ในกรณีที่ของไหลเป็นสารอัดรูปไม่ได้ (incompressible) $P_1 = P_2$

ดังนั้น $A_1 V_1 = A_2 V_2 = Q_1 = Q_2$ นั่นเอง .....(11)



รูปที่ 2.6 การไหลผ่าน Stream tube ที่ไม่มีการเปลี่ยนปริมาตร

สมการโมเมนตัม

สมการโมเมนตัมต่างจากสมการต่อเนื่องและสมการพลังงาน คือ สมการการต่อเนื่องและสมการพลังงานเป็นความสัมพันธ์แบบ scalar แต่สมการโมเมนตัมเป็นความสัมพันธ์แบบเวคเตอร์ซึ่งขนาด , ทิศทางของแรงและความเร่งมีความสำคัญ กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม กล่าวไว้ว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม (ให้คำจำกัดความว่าเป็นอัตราการไหลเป็นมวล ρ AV คูณด้วยความเร็ว V) ตลอดทางการไหลทำให้เกิดแรงหนึ่งขึ้น เรียกว่าแรงกด (impulse force)

การประยุกต์สมการโมเมนตัมเพื่อทำการวิเคราะห์การไหลที่พื้นที่หน้าตัดหนึ่งในเส้นท่อหนึ่งดังแสดงในรูปที่ 2.6 อาจสรุปได้ว่าโมเมนตัมที่ส่งผ่านพื้นที่หน้าตัด A_1 ในช่วงเวลา dt เท่ากับ

(มวลที่ถูกส่งผ่าน พื้นที่หน้าตัด A_1) $V_1 = (P_1 A_1 V_1 dt) V_1$ ..... (12)

และอยู่ในทิศทางของ V_1 ในทำนองเดียวกันโมเมนตัมที่ส่งผ่านพื้นที่หน้าตัด A_2 ในช่วงเวลา dt เท่ากับ

$(P_2 A_2 V_2 dt) V_2$ ..... (13)

แรงสุทธิที่กระทำต่อของไหลเนื่องจากการเปลี่ยนโมเมนตัมระหว่างพื้นที่ตัด 1 และ 2 คือ

$$F = \frac{(P_2 A_2 V_2 dt)V_2 - (P_1 A_1 dt)V_1}{dt} \quad \text{..... (14)}$$

$$F = M(V_2 - V_1)$$

เมื่อ M = มวล $= \dfrac{(P_2 A_2 V_2 dt)V_2 - (P_1 A_1 dt)V_1}{dt}$ ..... (15)

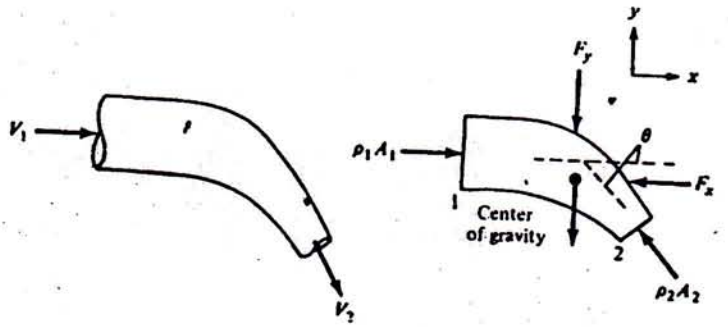
ขนาด $(V_2 - V_1)$ ในสมการ 15 คือการเปลี่ยนแปลงของเวคเตอร์ในความเร็ว

ในสมการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นในท่อโค้งมักนำเอาสมการโมเมนตัมมาใช้แสดงในรูปที่ 2.7 แรง F_x และ F_y ทำให้เกิดการสมดุลย์กับแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมเมื่อน้ำไหลผ่านท่อโค้งนั้น ๆ

ในทิศทาง x, $P_1 A_1 - P_2 \cos\theta - F_x = P Q (V_2 \cos\theta - V_1)$ ..... (16)

Y, $P_2 A_2 \sin\theta - w - F_y = P Q V_2 \sin\theta$ ..... (17)

แรง F_x และ F_Y ที่ต้องการนำมาเพื่อให้เกิดการสมดุลของแรงในท่อสามารถจัดทำขึ้นได้โดยใช้ค้ำยัน, ที่แขวน, เหล็กรัด, Thrust blocks, หรือสิ่งอื่น ๆ ที่คล้ายกันมาพยุงไว้ที่ผนังท่อ



รูปที่ 2.7 การประยุกต์สมการโมเมนตัมกับท่อโค้ง

สมการการไหล

สำหรับการออกแบบเพื่อการส่งผ่านของไหล ไม่ว่าจะเป็นการไหลในท่อหรือในรางน้ำเปิดก็ตาม สิ่งที่จะต้องทราบมี (1) ความสัมพันธ์ระหว่างความสูญเสียหรือความลาดชันของเส้นพลังงานกับอัตราการไหล (2) คุณสมบัติของไหล (3) ความขรุขระหรือเสียดทาน รูปร่าง ของท่อ หรือราง

การไหลในท่อปิด

สมการสำหรับการไหลของของไหลในท่อปิด อาจทำมาได้จากการพิจารณาตามทฤษฎีหรือจากการทดลอง สมการ ซึ่งใช้สำหรับการไหลแบบลามินาร์และสมการสากล เป็นสมการซึ่งหามาได้จากการพิจารณาตามทฤษฎี ส่วนสมการแมนนิ่ง และสมการเฮเซ่น - วิลเลียม หามาได้จากการทดลอง

ก) สมการ (Poiseuille)

สำหรับการไหลแบบลามินาร์ แรงเนื่องจากความหนืดมีความสำคัญมากว่าแรงอื่น ๆ เช่น แรงเฉื่อย ตัวอย่างการไหลอย่างลามินาร์คือการสูบสลัดจ์หรือตะกอนเลนในโรงบำบัดน้ำด้วยความเร็วต่ำในสภาพที่การไหลเป็นแบบลามินาร์ ความสูญเสียหัว h_f อาจคำนวณได้ดังนี้

$$h_f = \frac{32\mu LV}{PgD^2} = \frac{32vLV}{gD^2} \qquad \text{.....(18)}$$

เมื่อ h_f = ความสูญเสียหัวน้ำ, เมตร

μ = ความหนืดทางพลศาสตร์ของของไหล, นิวตัน - วินาทีต่อตารางเมตร

L = ความยาวท่อ, เมตร

P = ความหนาแน่นของไหล, กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

G = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง, 9.81 เมตรต่อ วินาที ^{2}

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ, เมตร

V = ความหนืดทางจลน์ของไหล, ตารางเมตรต่อวินาที

ทำนองเดียวกัน อัตราการไหล Q แสดงได้ในรูป

$$Q = \frac{\pi D^4 ghf}{128 \times vL} \qquad \text{.....(19)}$$

ข) สมการ Darcy - Weisbach

ในประมาณปี 1850 Darcy - Weisbach และอีกหลายคนได้ทำการทดลองกับท่อขนาดต่าง ๆ เพื่อหาสูตรสำหรับคำนวณความเสียดทานในท่อ สูตรที่รู้จักกันดีในปัจจุบันในรูปของสมการ Darcy - Weisbach ซึ่งใช้สำหรับท่อกลม คือ

$$h_f = f \times \frac{L}{D} - \frac{V^2}{2} \qquad \text{.....(20)}$$

ในรูปของ Q สมการจะเป็น

$$h_f = 8\frac{8fLQ^2}{\pi^2 gD^5} \qquad \text{.....(21)}$$

เมื่อ f = ส.ป.ส. ของความเสียดทาน (ในบางที่อาจใช้สัญลักษณ์ τ แทน) ค่าของ f ขึ้นอยู่กับเรโนลด์ (N_R) ความขรุขระของท่อ ขนาดท่อและอื่น ๆ ความสัมพันธ์ขององค์ประกอบเหล่านี้แสดงได้ด้วยกราฟ ซึ่งรู้จักทั่วไปในชื่อไดอะแกรมมู้ดดี้ ผลของขนาดและความขรุขระจะแสดงในรูปของความขรุขระสัมพันธ์ ซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่างความขรุขระสมบูรณ์ของท่อ (ε) กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ (D) อันอยู่ในหน่วยเดียวกัน ตัวเลขเรย์โนลด์ คือ

$$N_R = \frac{VDP}{\mu} = \frac{VD}{v} \qquad \text{.....(22)}$$

เมื่อ N_R = ตัวเลขเรย์โนลด์ ไม่มีหน่วย

ถ้าทราบค่าของ ε จะหาค่าโดยประมาณของ ส.ป.ส. ความเสียดทาน สำหรับการไหลแบบปั่นป่วนได้จากรูปที่ 2.2 หรือคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{D}{2\varepsilon} + 1.74 \qquad \text{.....(23)}$$

เมื่อสภาพของการไหลตกอยู่ในเขตการเปลี่ยนสภาพ ค่าของ f หาได้โดยขึ้นกับตัวเลขเรย์โนลด์และความขรุขระสัมพันธ์ ถ้าการไหลเป็นแบบลามินาร์ก็ไม่ต้องพิจารณาถึงความขรุขระ และตามทฤษฎีสามารถหาค่า f ได้จากสมการ

$$f = \frac{64}{N_R} \qquad \text{.....(24)}$$

สมการ 23 เป็นสมการทั่วไปสำหรับการหา ส.ป.ส ของความเสียดทานท่อขรุขระ ดังนั้นบางครั้งจึงเรียกสมการนี้ว่ากฎท่อขรุขระ (the rough - pipe law หรือ the quadratic law)

สมการเฮเซน - วิลเลียม

เป็นการที่ถูกคิดขึ้นมาในปี 1902 และเป็นสมการหนึ่งซึ่งนิยมใช้กันมากสำหรับการคำนวณท่อน้ำและท่อระบายน้ำเสียในปัจจุบัน สูตรนี้อยู่ในรูป

$$V = 0.849\ CR^{0.63}\ S^{0.54} \qquad \text{.....(25)}$$

เมื่อ C = ส.ป.ส. ความขรุขระของ chezy (ค่า C ลดลงตามความขรุขระที่เพิ่มขึ้น)

ถ้าแทนค่า R ด้วย D/4 สำหรับท่อกลมไหลเต็มท่อจะได้สูตร เฮเซน - วิลเลียม ซึ่งเขียนในรูปของอัตราการไหลเป็น

$$Q = 0.278\ CD^{0.63}\ S^{0.54} \qquad \text{.....(26)}$$

ส่วนค่า C สำหรับสูตรดังกล่าวได้สรุปแสดงไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสำหรับสมการเฮเซน - วิลเลียม

ชนิดของท่อ	C
ท่อที่ตรงและเรียบมาก ๆ	140
ท่อที่เรียบมาก	130
ไม้เรียบหรือปูนเรียบ	120
ท่อเหล็ก (ใหม่) ใช้หมุดย้ำ ท่อดินเผา	110
ท่อเหล็กหล่อ (เก่า) อิฐปกติ	100
ท่อเหล็ก (เก่า) ใช้หมุดย้ำ	95
ท่อเหล็ก (เก่า) ในสภาพโทรม	60-80

จ) การเปรียบเทียบสมการ Darcy - Weisbach แมนนิ่งและวิลเลียม ในการออกแบบท่อส่วนมากจะใช้สูตรหรือสมการดังกล่าวทั้งสาม ดังนั้นวิศวกรจึงควรทราบถึงสิ่งที่เหมือนและต่างกันของสมการเหล่านี้ และเพื่อให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบ จึงได้ทำการเปรียบเทียบในรูปของความลาดชันของเส้นลาดพลังงาน ดังนี้

$$\text{Darcy - Weisbach} \quad S = \frac{hf}{L} = \frac{8fQ^2}{\pi^2 gD^5} \qquad \text{.....(27)}$$

Manning $$S = 10.3\frac{n^2 Q^2}{D^{\frac{16}{3}}}$$ ..... (28)

Hazen - Williams $$S = \frac{10.7 Q^{1.85}}{C^{1.85} D^{4.87}}$$ ..... (29)

จากทั้ง 3 สมการนี้เห็นว่า สามารถเขียนสูตรของ S โดยประมาณได้เป็น

$$S = \frac{KQ^2}{D^5}$$ ..... (30)

เมื่อ K = ค่าคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับความขรุขระของท่อ

ถ้าให้ค่า S จากทั้ง 3 สมการเท่ากัน จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง f, n และ c ดังนี้

$$0.0827f = \frac{10.3n^2}{D^{1/3}} = \frac{10.7 D^{0.13}}{C^{1.85} Q^{0.15}}$$ ..... (31)

เมื่อทราบค่า ส. ป. ส. ค่าใดค่าหนึ่งก็จะสามารถคำนวณหาค่า ส.ป.ส. ของอีก 2 วิธี โดยสมการ 31 ค่าที่ได้ทั้งหมดจะนำไปคำนวณความลาดชันของเส้นลาดพลังงานจาก 3 วิธีได้เหมือนกันทีเดียว (ในการหา ส.ป.ส. ค่า C จำต้องทราบหรือประมาณค่าอัตราการไหลก่อน) สมการที่ 31 แสดงให้เห็นว่าการเลือกใช้ค่า ส.ป.ส. ค่า C เฮเซน – วิลเลียมและค่า p ของสมการแมนนิ่งที่อาจเหมาะสมสำหรับท่อขนาดหนึ่งอาจไม่เหมาะสมกับท่ออีกขนาดหนึ่งได้ แม้ว่าวัสดุที่ใช้ทำท่อนั้นจะเป็นชนิดเดียวกันก็ตาม นอกจากนั้นถ้าจะให้สมการเฮเซน - วิลเลียม สอดคล้องกับสมการอื่นอีก 2 สมการค่า C ดังกล่าวต้องแปรตามอัตราการไหลด้วยเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม การแปรนี้ค่าน้อยมากน้อยในทางปฏิบัติจึงถือได้ว่าค่า C เป็นค่าคงที่

ส.ป.ส. ค่า f ของสมการ Darcy - Weisbach จะมีค่าเปลี่ยนแปลง ขึ้นขนาดท่อ และนอกจากเป็นการไหลแบบปั่นป่วนแล้ว ค่า f นี้จะขึ้นกับอัตราการไหลกัน สำหรับการออกแบบเกี่ยวกับน้ำเสียส่วนมากมักเป็นการไหลที่อยู่ในช่วงเขตการเปลี่ยนสภาพ คืออยู่ระหว่างการไหลแบบลามินาร์และการไหลแบบปั้นป่วน

ฉ) ข้อแนะนำทั่วไปสำหรับสมการการไหลในท่อ

วิศวกรต้องพึงระลึกเสมอว่าในทางปฏิบัติเมื่อใช้สมการเหล่านี้ ผลที่ได้ออกมามักไม่ตรงกับความเป็นจริงเสมอไป ทั้งนี้เพราะการเลือกค่า f , n หรือ C นั้นเป็นการเลือกมีความคลาดเคลื่อนในตัวสูงตั้งแต่แรกเริ่มแล้ว

นอกจากนี้ การนำสูตรดังกล่าวไปใช้กับน้ำเสียซึ่งมีความสกปรก สารของแข็งลอยปะปนอยู่ ฯลฯ ความแม่นยำก็จะลดลงไปอีก รอยต่อท่อและความไม่ต่อเนื่องกันในเส้นท่อ ฯลฯ ก็มีผลกระทบต่อการไหล ท่อที่เก่าและชำรุดโดยการกัดกร่อน หรือสึกกร่อนรวมทั้งตะกอนตกหมักหมกอยู่ที่ก้นท่อก็มีส่วนทำให้ค่า ส.ป.ส. ความเสียดทานเปลี่ยนไป แต้ถ้าวิศวกรตระหนักความสำคัญนี้ไว้แต่เริ่มแรก การนำสูตรไปใช้ในทางปฏิบัติสามารถทำได้ในระดับที่น่าประทับใจ

ตารางที่ 2.3 ค่าสัมประสิทธิ์ของความหยาบ **n** ของท่อชนิดต่างๆ

ชนิดของท่อ	ค่าสัมประสิทธิ์
ท่อคอนกรีตข้อต่อหยาบ	0.013 — 0.014
ท่อคอนกรีตข้อต่อธรรมดา,เรียบ	0.012
ท่อคอนกรีตข้อต่ออย่างดี ใช้แบบหล่อเหล็ก	0.011
ท่อกล่องเหลี่ยมคอนกรีต ใช้แบบหล่อไม้อัด,เรียบ	0.012
ท่อกล่องเรียบคอนกรีต ไม้แบบธรรมดา	0.013
ท่อกล่องเหลี่ยมคอนกรีต หยาบและมีตะกอนตก	0.016
ท่อดินเผากลม	0.013 — 0.014
ท่อกลมโลหะลอนย้ำด้วย rivet, ลอนเล็ก ½ นิ้ว	0.024
ท่อกลมโลหะลอนฉาบภายใน, ลอนเล็ก ½ นิ้ว	0.019 — 0.021
ท่อกลมโลหะลอน, ลอนใหญ่ 2 นิ้ว	0.030
ท่อโค้งด้วยโลหะแผ่น, กลมหรือรูป Arch	0.0302 — 0.0328

2.3 การศึกษาแบบจำลองระบบระบายน้ำ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการจำลองสภาพระบบระบายน้ำที่มีการนำมาใช้ในประเทศไทย เช่น

2.3.1 แบบจำลอง ILLUDAS

แบบจำลอง ILLUDAS เป็นแบบจำลองที่เกิดขึ้นมาจากการพัฒนา แบบจำลอง RRL (Road Research Laboratory) โดยได้มีการเพิ่มโปรแกรมการคำนวณหาปริมาณน้ำท่าที่เกิดจากพื้นที่ที่มีหญ้าปกคลุมเข้าไว้ด้วยหลักการคำนวณปริมาณน้ำท่าที่ไหลออกจากพื้นที่รับน้ำย่อยนั้นใช้วิธีความสัมพันธ์ระหว่างเวลา – พื้นที่ โดยเวลาของการเดินทาง (Time Travel) บนพื้นที่รับน้ำอาจหาได้จากการคำนวณ หรือจากการสำรวจในสนาม ปริมาณน้ำท่าคำนวณได้จากปริมาณน้ำฝนหลังจากที่หักความสูญเสียเริ่มต้น (Initial Losses) และโค้งความสัมพันธ์ของเวลา-พื้นที่

แบบจำลอง ILLUDAS สามารถใช้ได้ทั้งการประเมินผล และออกแบบระบบราบายน้ำและสามารถคำนวณกรณีที่การไหลเป็นแบบการไหลแบบเต็มท่อได้แต่จะไม่สามารถศึกษาถึงผลกระทบคุณภาพน้ำในแหล่งรับน้ำ

2.3.2 แบบจำลอง WALLRUS

WALLRUS เป็นส่วนหนึ่งของวิธีการ Wallingford พัฒนาโดย Hydraulic Research Limited แห่งประเทศอังกฤษ แบบจำลอง WALLRUS ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อใช้ออกแบบและวิเคราะห์ระบบระบายน้ำแบบก้างปลา (Dendritic System) ที่มีการไหลในทิศทางเดียวและไม่มีการไหลย้อนกลับ (Reverse Flow) แบบจำลอง WALLRUS ประกอบด้วยโปรแกรมการคำนวณหลายวิธีที่สามารถเลือกใช้ตามสภาพปัญหาของระบบระบายน้ำที่แตกต่างกัน ดังนี้

1. โปรแกรมออกแบบ มี 2 วิธี
   - วิธีหลักเหตุผล (Rational Method)
   - วิธีชลภาพ (Hydrograph Method)
2. โปรแกรมการวิเคราะห์
   - วิธีการจำลองสภาพ (Simulation Method)

3. โปรแกรมอื่นๆ

- โปรแกรมป้อน และแก้ไขข้อมูล
- โปรแกรมคำนวณราคา
- โปรแกรมแสดงผลในรูปกราฟ

สมมติฐาน และข้อจำกัดของแบบจำลอง WALLRUS ได้แก่

-ใช้สำหรับระบบระบายน้ำที่มีการไหลในทิศทางเดียว

- การคำนวณอิทธิพลจากน้ำที่ไหลเอ่อ มีเฉพาะโปรแกรมการวิเคราะห์

- ความลาดชันของท่อที่ติดลบ โปรแกรมจะปรับให้มีความลาดเอียงเป็นบวกที่มีความลาดชันน้อยมาก

- ไม่คิดการเคลื่อนตัวของตะกอน การเปลี่ยนแปลงความดันและความหนาแน่นของน้ำ

2.3.3 แบบจำลอง SPIDA

แบบจำลอง SPIDA เป็นส่วนหนึ่งของวิธีการ Wallingford พัฒนาโดย Hydraulic Research Limited แห่งประเทศอังกฤษ แบบจำลอง SPIDA ถูกสร้างมาเพื่อใช้ออกแบบ และวิเคราะห์ระบบระบายน้ำที่มีการไหลแบบบ่วง (Loop system) แบบจำลอง SPIDA ประกอบด้วยแบบจำลองอุทกศาสตร์และชลศาสตร์ คือ สามารถเปลี่ยนน้ำฝนเป็นน้ำท่า และวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของระบบระบายน้ำรูปบ่วงได้ ซึ่งแบบจำลอง SPIDA มีคุณสมบัติเฉพาะดังนี้

- สามารถกำหนดฝนได้หลายขนาดในพื้นที่ศึกษา
- สามารถวิเคราะห์ระบบที่มีระบบระบายน้ำเป็นแบบรูปบ่วงทั้งที่เป็นคลอง หรือท่อระบายน้ำ
- ใช้สมการการไหลเต็มรูปแบบ (Fully Saint Venent Equation)
- สามารถวิเคราะห์การไหลภายใต้ความดันในท่อ และท่อลอด
- จุดทิ้งน้ำ (Outfall) จะเป็นเงื่อนไขและขอบเขต (Boundary Condition) ที่ใช้ในการคำนวณด้วย

แบบจำลอง SPIDA ประกอบด้วยแบบจำลองน้ำฝน – น้ำท่า ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ

2. แบบจำลองปริมาตรน้ำท่า (Runoff Volume Model)

- แบบจำลองปริมาตรน้ำท่าใช้กับสหราชอาณาจักร (Modification to the UK Runoff Volume Model)
- แบบจำลองแบบค่าสัมประสิทธิ์น้ำค่าคงที่ (Fixed Runoff Coefficient)
-แบบจำลองของ SCS (Soil Conservation Service Model)

3. แบบจำลองอัตราการไหลน้ำท่า (Runoff Rate Model)

2.3.4 แบบจำลอง RUBICON

แบบจำลอง RUBICON เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ถูกสร้าง และพัฒนาโดย Haskoning BV & Delft Engineering Software บริษัท NEDECOและ SPAN (1987) ได้ใช้แบบจำลองนี้จำลองสภาพระบบระบายน้ำในเขตธนบุรี และระบบระบายน้ำทางตะวันตกของจังหวัดสมุทรปราการ แบบจำลอง RUBICON เป็นแบบจำลองที่ใช้สมการพลศาสตร์แบบไม่ทรงตัวมั่น (Saint- Venant Equation) ซึ่งเป็นแบบจำลองการไหลทางชลศาสตร์ (Hydraulic Routing) เท่านั้น ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องใช้แบบจำลองน้ำท่าเพื่อเปลี่ยนน้ำฝนเป็นน้ำท่าก่อนจึงจะสามารถแบบจำลอง RUBICON นี้ได้

2.3.5 แบบจำลอง EXTRAN

แบบจำลอง EXTRAN เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นโดย Camp Dresser & Mckee Inc. เป็นแบบจำลองการไหลทางชลศาสตร์ที่สามารถวิเคราะห์ระบบระบายน้ำที่เป็นโครงข่าย (Network Drainage System) และสามารถที่จะวิเคราะห์การไหลของระบบราบายน้ำแบบเต็มท่อ รวมทั้งการไหลผ่านอาคารทางชลศาสตร์ได้ แต่ในการใช้แบบจำลอง EXTRAN นี้จะต้องหาปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลองน้ำท่าก่อนจึงจะสามารถใช้แบบจำลอง EXTRAN นี้ได้

2.3.6 แบบจำลอง MOUSE

แบบจำลอง MOUSE เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาโดย Danish Hydraulic Institue, Emolet Data AS., Department of Enviromental Engineering at the Techmical University of Denmark, and I. Kruger AS. เพื่อใช้ในการจำลองระบบระบายน้ำในเขตเมือง สำหรับประเมินประสิทธิภาพระบบระบายน้ำ และวิเคราะห์ระบบระบายน้ำ หรือออกแบบระบบระบายน้ำ โดยแบบจำลอง MOUSE จะมีระบบการทำงานซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วนดังนี้

1. ส่วนการป้อนข้อมูล เป็นส่วนที่ช่วยในด้านการป้อนข้อมูลเข้าในโปรแกรม การแก้ไขข้อมูลที่มีอยู่เดิม
2. ส่วนการคำนวณ แบ่งการคำนวณออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

2.1 การคำนวณน้ำท่าผิวดิน แบ่งเป็น 2 ระดับ ดังนี้

- ระดับ A เป็นการคำนวณโดยใช้ความสัมพันธ์ของค่าความสูญเสียเริ่มต้น และโค้งความสัมพันธ์ของเวลา – พื้นที่

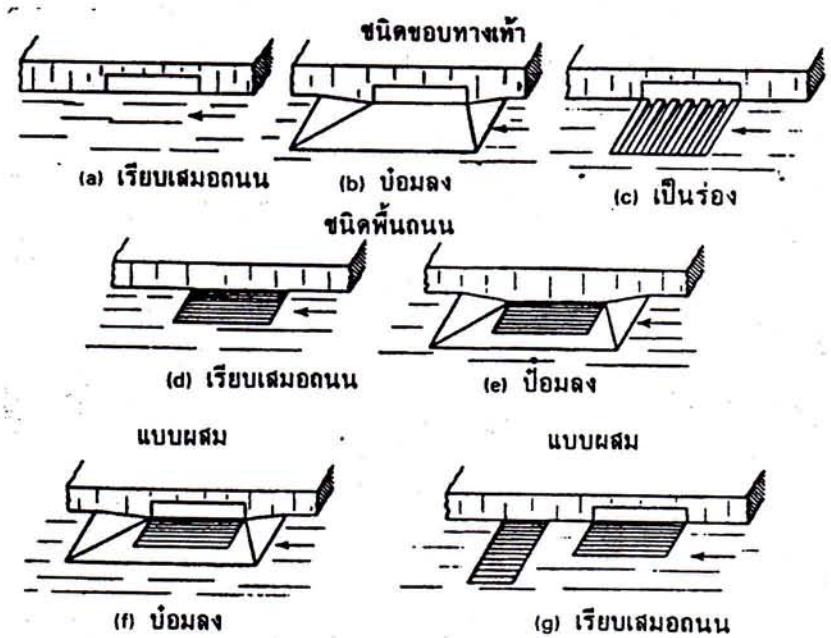
- ระดับ B เป็นการคำนวณโดยใช้สมการความต่อเนื่อง และสมการคลื่นจลศาสตร์ รวมทั้งขั้นตอนทางอุทกวิทยา และชลศาสตร์

2.2 การคำนวณการไหลทางชลศาสตร์ในท่อระบายน้ำ และทางน้ำเปิด แบ่งได้ 3 แบบ ตามทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณคือ

- ทฤษฎีคลื่นจลน์ศาสตร์ (Kinematic wave theory)
- ทฤษฎีคลื่น Diffusive (Diffusive wave theory)
- ทฤษฎีคลื่นพลศาสตร์แบบเต็มรูปแบบ (Fully dynamic wave theory)

2.3 การคำนวณปริมาณมลภาวะ ซึ่งได้แก่แบบจำลอง SAMBA

3. การแสดงผล และการนำเสนอจะเป็นส่วนที่แสดงผลของการจำลองสภาพระบบระบายน้ำ



รูปที่ 2.8 ชนิดทางน้ำเข้าข้างถนน

ความถี่ในการลอกบ่อกักขึ้นอยู่กับสภาพท้องถิ่นแต่ละแห่ง เช่น ขนาดบ่อ ปริมาณเศษกรวด ทราย และผง ช่วงระยะเวลาหน้าแล้ง ลักษณะภูมิอากาศ ภูมิประเทศ การทำความสะอาดถนน ชนิดวัสดุเคลือบผิวถนน และ ฯลฯ อย่างไรก็ตามการลอกบ่อกักมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าการลอกราง ซึ่งอาจทำได้ด้วยวิธีใช้แรงคนหรืออุปกรณ์เครื่องจักรกล ผู้เกี่ยวข้องจึงควรเน้นการทำความสะอาดป้องกัน (preventive cleaning) ที่รางรับน้ำมากกว่าการแก้ไขปัญหาที่ตัวบ่อกักหรือระบบท่อภายหลัง

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

การคำนวณหาปริมาณน้ำจากฝนนิยมใช้วิธี Rational Method ซึ่งง่ายต่อการคำนวณ และค่าที่ถูกต้องในพื้นที่รับน้ำ วิธีนี้ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนที่ตก ระยะเวลารอบปีที่ฝนตก ดังสมการ

Q = CIA ระบบอังกฤษ (ลูกบาศก์ฟุตต่อวินาที)

Q = 0.278CIA ระบบเมตริก (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

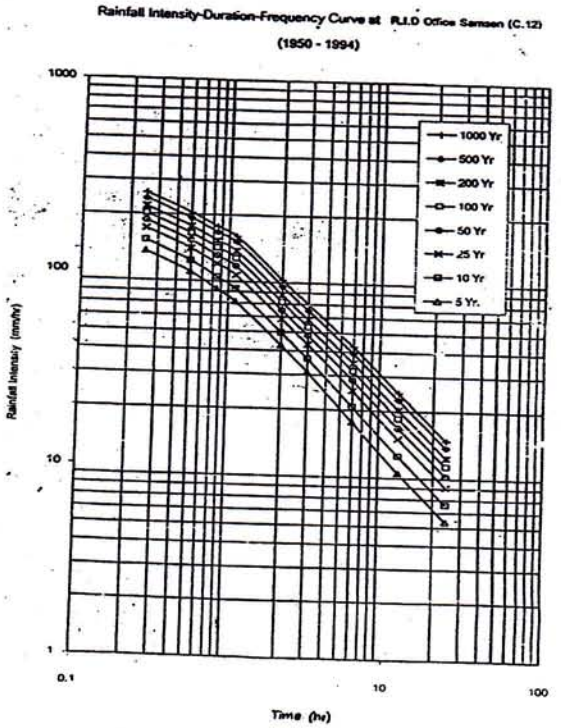
เมื่อ Q = ปริมาณน้ำมากที่สุดที่ไหลในช่องน้ำ

C = สัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำบนพื้นดิน ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศ ชนิดของดิน

I = ปริมาณน้ำฝนสำหรับช่วงระยะเวลาที่กำหนดในการออกแบบ

A = พื้นที่รับน้ำ

การกำหนดค่า I หรือปริมาณน้ำฝนที่ตก ซึ่งเกิดในเวลาหนึ่งขึ้นอยู่กับค่า time of concentration (Tc) หรือระยะเวลาที่น้ำไหลไปไกลสุด เมื่อฝนตกลงมาถึงบริเวณที่ต้องทำช่องระบายน้ำ กำหนดให้ระยะเวลาฝนตกจึงเกิดขึ้นภายในรอบปีที่นำมาออกแบบ



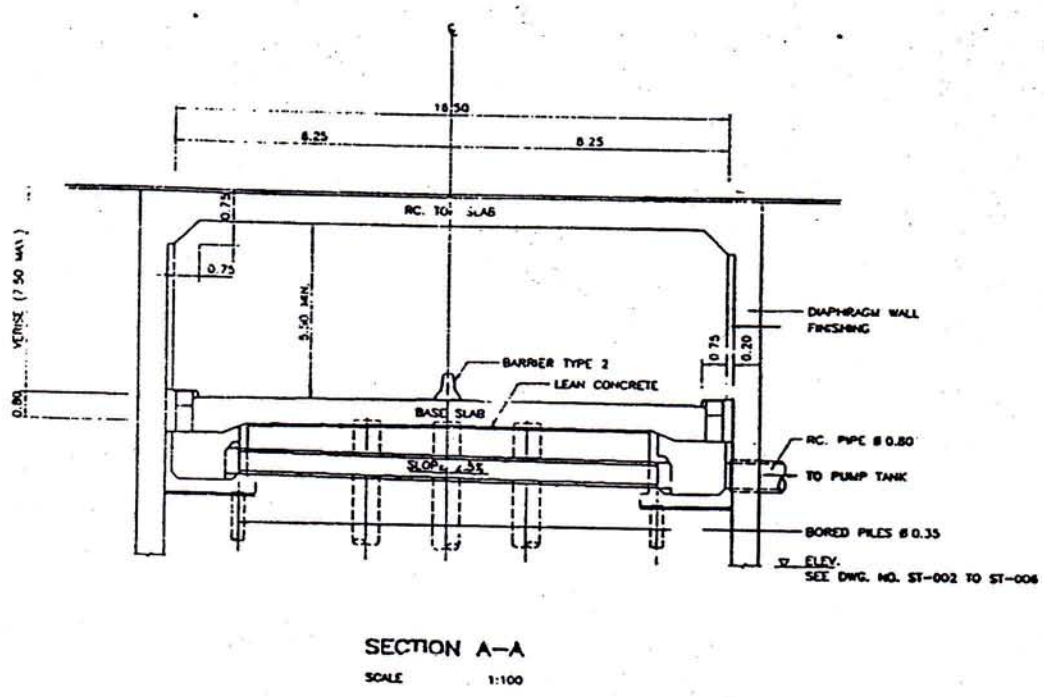
กราฟที่ 3.1 ความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำฝนกับระยะเวลา

ตารางที่ 3.1 สัมประสิทธิ์ การไหลของน้ำบนพื้นวัสดุชนิดต่าง ๆ

ชนิดของพื้นที่ระบายน้ำ	สัมประสิทธิ์การไหล C
พื้นคอนกรีตและพื้นลาดลง	0.70-0.90
พื้นผิวทางเป็นกรวดหรือแมคคาดัม	0.40-0.70
พื้นดินที่น้ำซึมผ่านมาได้ที่มีความลาดชัน 1–2%	0.30-0.55
พื้นดินที่ซึมน้ำได้บ้างเล็กน้อย	0.15-0.40
พื้นดินที่มีน้ำซึม	0.05-0.10
บริเวณป่าไม้ (ขึ้นอยู่กับความลาดชันและสิ่งปกคลุม)	0.03-0.50

การกำหนดหาค่า C จากตารางสัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ บนพื้นวัสดุชนิดต่าง ๆ ชนิดของพื้นระบายน้ำ แบบพื้นคอนกรีตและพื้นลาดยาง กำหนดสัมประสิทธิ์การไหล C = 0.80 (ตารางที่ 3.1)

การกำหนดค่า A คือพื้นที่รับน้ำฝนบนถนนมีขนาดกว้าง 16.5 เมตร และมีความยาว 950 เมตร จะมีพื้นที่รับน้ำฝน = 16.5 × 950 = 15,675 เมตร(ดังรูปที่ 3.1)



SECTION A–A
SCALE 1:100

รูปที่ 3.1 รูปตัดถนน

หาปริมาณน้ำที่ไหลเข้าทางลอดใต้สี่แยกบางเขน

ปริมาณฝนสูงสุดใน 50 ปี

เมื่อ

Q = 0.278 CIA (สมการ manning)

C = 0.80

I = 125 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง (จากสถานีวัดน้ำฝนบางเขน,ดังกราฟที่ 3.1)

A = 15,675 ตารางเมตร

ดังนั้น

$$Q = 0.278\,CIA$$

$$= 0.278 \times 0.80 \times 125 \times \frac{15675}{1{,}000{,}000}$$

$$= 0.435 \text{ ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที}$$

Side Ditch ที่รองรับปริมาณน้ำจำนวนทั้งหมด 4 ด้าน

∴ แต่ละด้านของอุโมงค์ลอด จะรองรับปริมาณน้ำ = 0.11 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

หาขนาดรางน้ำ

จากสูตร $Q = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$ (สมการ manning)

เมื่อ

Q = 0.11 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

A = B×Y : B = ความกว้าง (สมมติ = 0.5 เมตร) Y = ความสูง

$= 0.5Y$

$R = \frac{A}{P}$

$= \frac{0.5Y}{0.5 + 2Y}$

S = 4 % = 0.04

แทนค่าสูตร

$Q = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$ (สมการ manning)

$$0.11 = \frac{1}{0.014} \times 0.50y \left(\frac{0.5y}{0.5 + 2y} \right)^{\frac{2}{3}} \times 0.04^{\frac{1}{2}}$$

Y = 0.3 เมตร

ดังนั้น ขนาดรางเท่ากับ 0.50×0.30 เมตร (จากแบบแปลน,ดังรูปที่ 3.7) จากผลการคำนวณที่ได้มีขนาดของรางระบายน้ำที่มีขนาดเท่ากับขนาดในแบบแปลน

หาขนาดท่อระบายน้ำระหว่างบ่อพัก

Q = $\frac{0.312}{n} D^{\frac{8}{3}} S^{\frac{1}{2}}$ (สมการ manning)

เมื่อ

Q = อัตราการไหลของน้ำที่ไหลเข้าบ่อพัก

= 0.11 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

n = สัมประสิทธิ์ความขรุขระ = 0.014 (จากตารางที่ 2.3)

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ (เมตร)

S = ความชัน (Slop) ของท่อ = 0.025 (จากแบบแปลน,ดังรูปที่ 3.3)

แทนสูตร

0.11 = $\frac{0.312}{0.014} \times D^{\frac{8}{3}} \times 0.025^{\frac{1}{2}}$

D = 0.30 เมตร (จากรูปที่ 3.3) จากผลการคำนวณที่ได้ขนาดของท่อที่เล็กลง เพราะขนาดในแบบแปลน = 0.60 เมตร

หาขนาดท่อจากบ่อพักไปบ่อเก็บใหญ่ก่อนสูบออก

Q = $\frac{0.312}{n} D^{\frac{8}{3}} S^{\frac{1}{2}}$

เมื่อ

Q = อัตราการไหลของน้ำที่ไหลเข้าบ่อพัก (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

= 0.22 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (1 ท่อต่อบ่อพัก 2 บ่อ)

n = สัมประสิทธิ์ความขรุขระ = 0.014 (จากตารางที่ 2.3)

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ (เมตร)

S = ความชัน (Slop) ของท่อ = 0.04 (จากแบบแปลน,ดังรูปที่ 3.3)

แทนสูตร

Q = $\frac{0.312}{n} D^{\frac{8}{3}} S^{\frac{1}{2}}$

0.22 = $\frac{0.312}{0.014} \times D^{\frac{8}{3}} \times 0.04^{\frac{1}{2}}$

D = 0.40 เมตร (จากแบบแปลน,ดังรูปที่ 3.3) จากผลการคำนวณที่ได้ขนาดของท่อที่เล็กลง เพราะขนาดในแบบแปลน = 0.80 เมตร

หาความเร็วของน้ำที่ไหลในท่อ

จากสูตร $V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$

เมื่อ

V = ความเร็วของน้ำที่ไหลในบ่อ (เมตรต่อวินาที)

R = Hydraulic radius, ฟุต

$= \frac{D}{4}$, D = เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ

n = สัมประสิทธิ์ความขรุขระ = 0.014 (จากตารางที่ 2.3)

S = ความชันของท่อ = 0.04 (จากแบบแปลน,ดังรูปที่ 3.3)

แทนสูตร

$V = \frac{1}{0.014} \times \left(\frac{0.4}{4}\right)^{\frac{2}{3}} \times 0.04^{\frac{1}{2}}$

= 3.07 เมตร ต่อวินาที

หาปริมาณน้ำที่ลงบ่อสูบน้ำ

ดังนั้น $Q = AV$

เมื่อ Q = อัตราการไหลของน้ำในท่อ (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

A = พื้นที่หน้าตัดของท่อ

V = ความเร็วของน้ำที่ไหลในท่อ

แทนสูตร $Q = \frac{\pi D^2}{4} \times 3.07$

$Q = \frac{\pi(0.4)^2}{4} \times 3.07$

Q = 0.386 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (จำนวน 1 ท่อ)

ดังนั้น อัตราการไหลของน้ำ 2 ท่อ = 0.772 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

หาขนาดบ่อพัก

น้ำที่ไหลเข้าบ่อพักน้ำ = 0.11 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

บ่อพักน้ำซึ่งต้องเก็บน้ำ 1 นาที ก่อนจะระบายลงบ่อสูบ = 0.11×60 (วินาที)

= 6.60 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

หาขนาดบ่อสูบน้ำ

คำนวณจากปริมาณน้ำสูงสุดที่ไหลเข้าบ่อสูบน้ำ = 0.772 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ดังนั้น ในเวลา 1 ชั่วโมง มีปริมาณน้ำ = 2,779.2 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที แต่จะหาขนาดบ่อสูบที่มีปริมาตร 1 ใน 5 ของปริมาณน้ำไหลเข้าบ่อสูบใน 1 ชั่วโมง

ปริมาตรบ่อสูบ = $\frac{2779.2}{5}$ = 555.84 ลูกบาศก์เมตร

ขนาดบ่อสูบ 8×10×10.75 ลูกบาศก์เมตร (จากแบบแปลน,ดังรูปที่ 3.8) จากผลการคำนวณที่ได้ขนาดของบ่อสูบเท่ากับในแบบแปลน

หาขนาดเครื่องสูบน้ำ

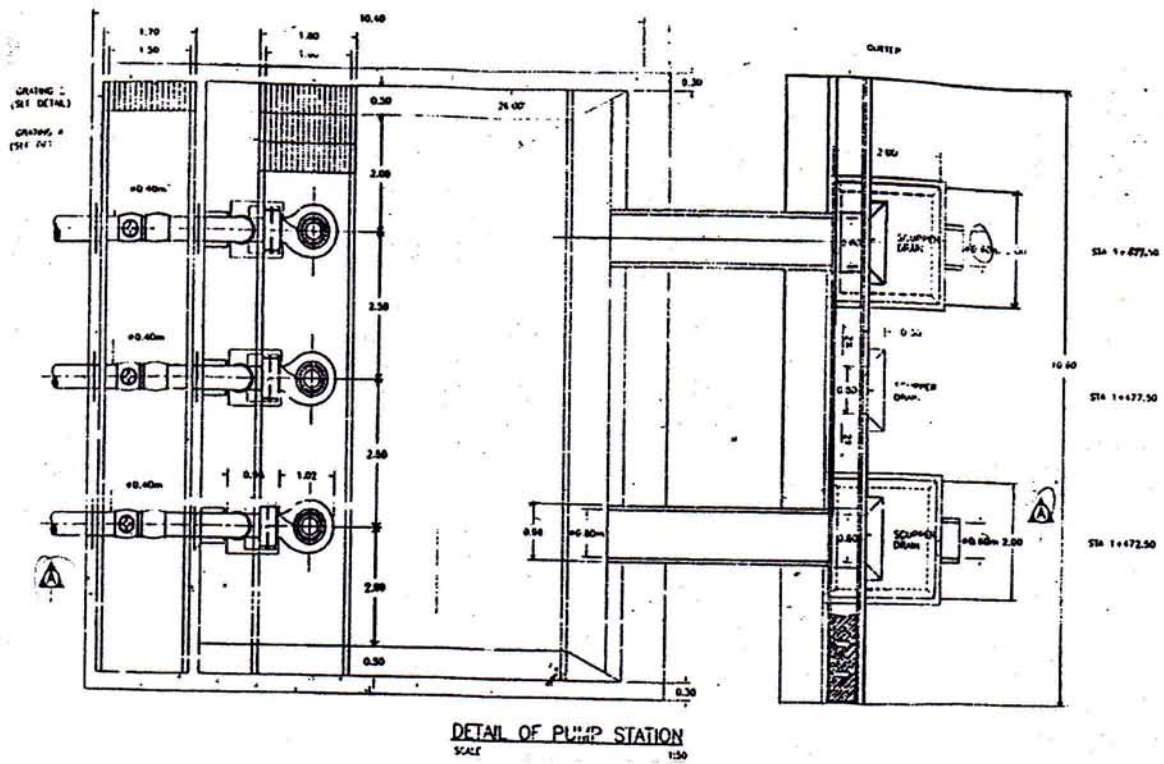
อัตราน้ำสูงสุดที่ไหลเข้าบ่อสูบ = 0.772 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ใช้เครื่องสูบน้ำ ยี่ห้อ KJI ชนิดเครื่องน้ำไฟฟ้าจุ่มขนาดท่อออก 14 นิ้ว ปริมาณการสูบ 0.3 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที สูบได้สูงสุดที่ 8 เมตร (ดังตารางที่ 3.3) ติดตั้งจำนวน 3 เครื่อง ซึ่งมีปริมาณการสูบเท่ากับ 0.9 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

การทำงานของปั๊ม

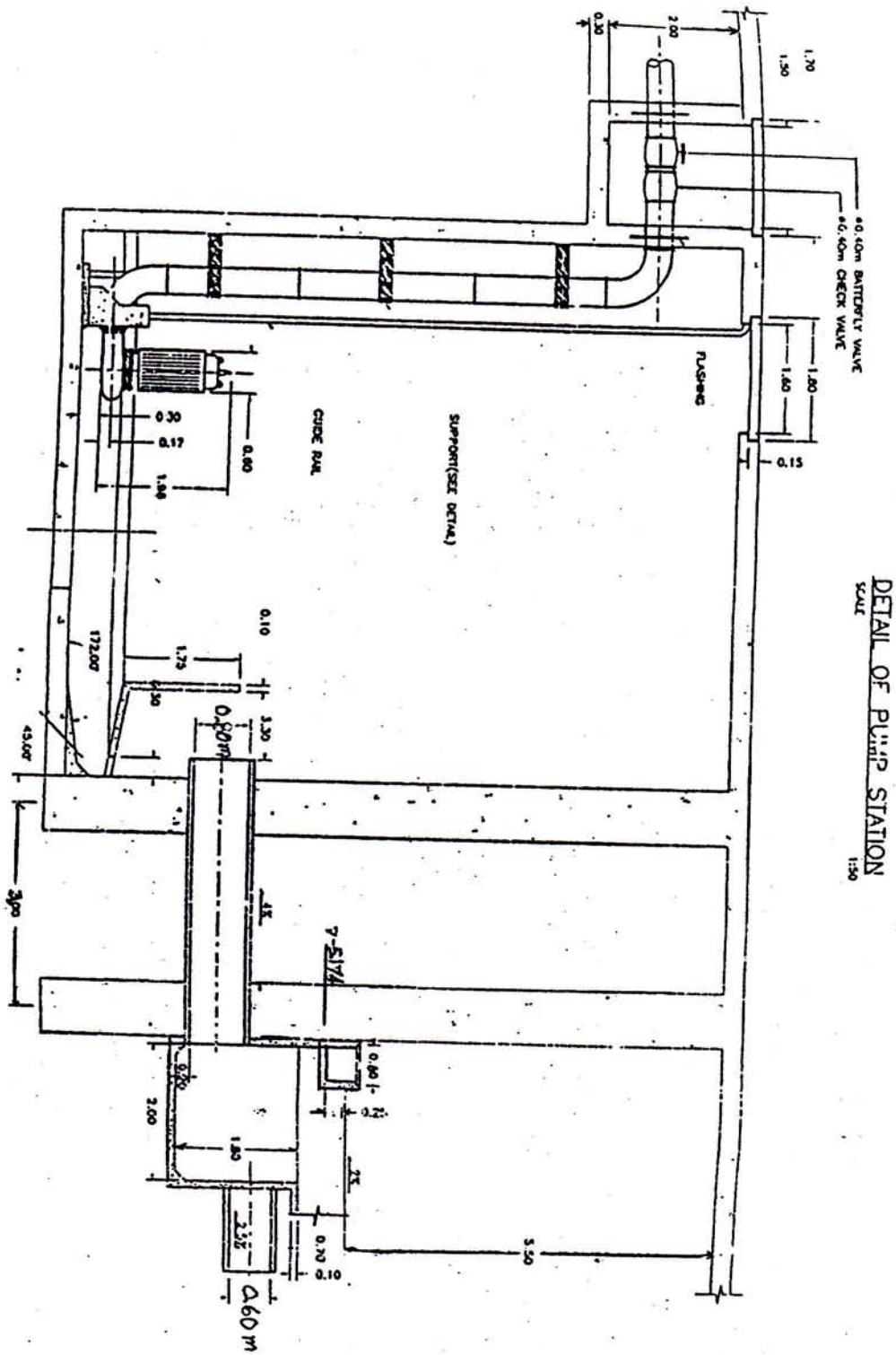
การออกแบบอุโมงค์ซึ่งเป็นแบบเปิดโล่ง แบบต่ำกว่าระดับดินประมาณ 7.00 เมตร ดังนั้น จำเป็นจะต้องมีระบบป้องกันน้ำท่วม ซึ่งในที่นี้อุโมงค์มีความยาวประมาณ 950 เมตร และมีความกว้างของถนนประมาณ 16.5 เมตร ดังนั้นอุโมงค์จะมีพื้นที่ในการรับน้ำฝนประมาณ 15,675 m^2 กำหนดให้ Return Period ใช้ 50 ปี ค่าความเข้มของฝน (I = 125 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง) ค่าสัมประสิทธิ์การไหลของ (C) = 0.80 ดังนั้นปริมาณน้ำฝนที่ตกในอุโมงค์

ใช้ Q = 0.435 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

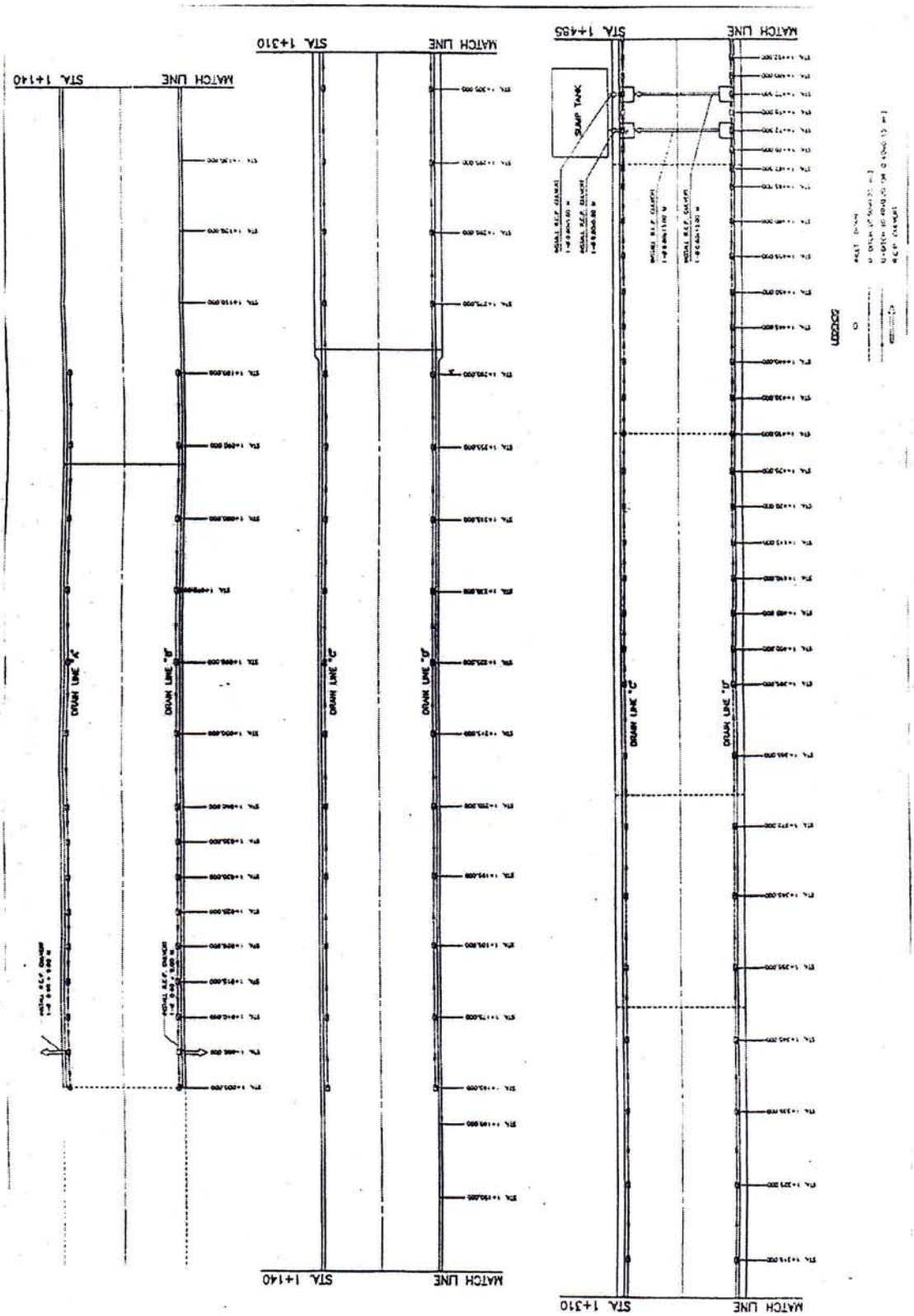
เพราะฉะนั้นขนาด Capacity ของปั๊ม จะต้องสามารถรองรับน้ำฝนได้ 0.6 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เพื่อให้เป็นการประหยัดพลังงาน เพราะฉะนั้นจึงต้องแยกปั๊มออกเป็น 3 ตัว ๆ ละ 0.2 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที บ่อ Sump จะสามารถที่จะเก็บกักน้ำไว้ได้ประมาณ 320 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งถ้าระดับน้ำในบ่อ Sump สูงถึง — 5.30 เมตร จะมีสัญญาณเตือนภัยที่ทางเข้าอุโมงค์และส่งสัญญาณ ไปที่หมวดกรมทางหลวง ซึ่งปั๊มทั้ง 3 ตัวนี้ จะควบคุมด้วย SOFT START CONTROL



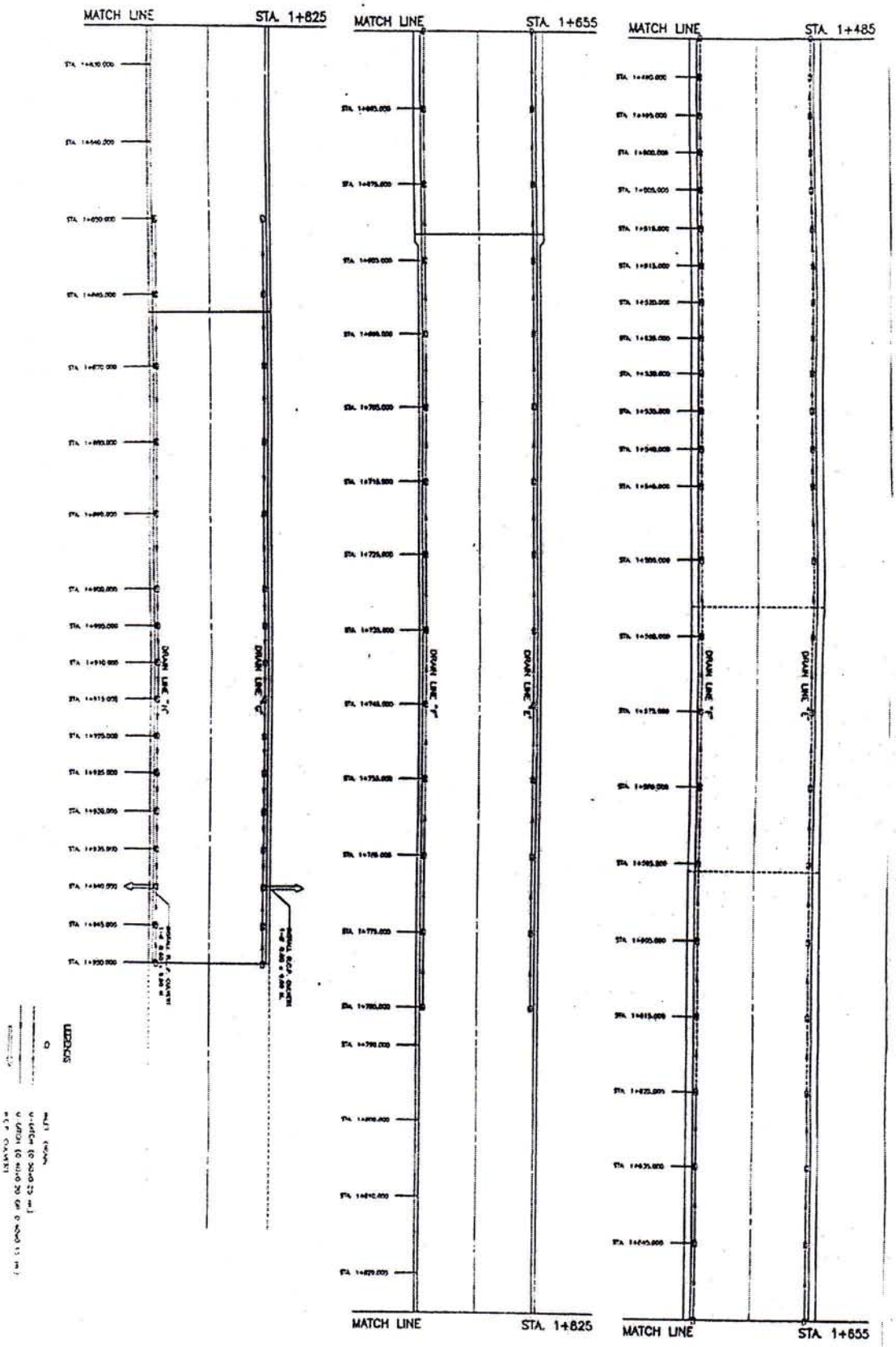
ที่ 3.2 แบบแปลนปั๊มและท่อ



รูปที่ 3.3 รูปตัดปั๊มและท่อ



รูปที่ 3.4 แปลนถนนและระยะรูระบายน้ำ



รูปที่ 3.5 แปลนถนนและระยะรูระบายน้ำ

DRAIN LINE	INLET DRAIN NO.	STA.	GR.ELE.(M.)	INV.ELE.(M.)	U-DITCH SIZE (M.)	SLOPE%	REMARK
A-B	1	1+000.000	3.000	2.625	(0.40×0.15)		
	2	1+005.000	3.025	2.600	(0.40×0.15)	−0.508	DROP INLET
	3	1+010.000	3.049	2.624	(0.40×0.20)	0.492	
	4	1+015.000	3.074	2.649	(0.40×0.20)	0.492	
	5	1+020.000	3.098	2.673	(0.40×0.20)	0.492	
	6	1+025.000	3.123	2.698	(0.40×0.20)	0.492	
	7	1+030.000	3.148	2.723	(0.40×0.20)	0.492	
	8	1+035.000	3.172	2.747	(0.40×0.20)	0.492	
	9	1+040.000	3.197	2.772	(0.40×0.20)	0.492	
	10	1+050.000	3.246	2.821	(0.40×0.20)	0.492	
	11	1+060.000	3.295	2.870	(0.40×0.20)	0.492	
	12	1+070.000	3.345	2.920	(0.40×0.20)	0.492	
	13	1+080.000	3.394	2.969	(0.40×0.20)	0.492	
	14	1+090.000	3.442	3.017	(0.40×0.20)	0.483	
	15	1+100.000	3.460	3.044	(0.40×0.20)	0.268	

DRAIN LINE	INLET DRAIN NO.	STA.	GR.ELE.(M.)	INV.ELE.(M.)	U-DITCH SIZE (M.)	SLOPE%	REMARK
C-D	1	1+165.000	2.913	2.488	(0.40×0.20)		
	2	1+175.000	2.715	2.290	(0.40×0.20)	−1.979	
	3	1+185.000	2.487	2.062	(0.40×0.20)	−2.279	
	4	1+195.000	2.230	1.805	(0.40×0.20)	−2.576	
	5	1+205.000	1.942	1.517	(0.40×0.20)	−2.877	
	6	1+215.000	1.624	1.199	(0.40×0.20)	−3.177	
	7	1+225.000	1.277	0.852	(0.40×0.20)	−3.476	
	8	1+235.000	0.899	0.474	(0.40×0.20)	−3.775	
	9	1+245.000	0.500	0.075	(0.40×0.20)	−3.991	
	10	1+255.000	0.100	−0.325	(0.40×0.20)	−4.000	
	11	1+265.000	−0.300	−0.725	(0.40×0.20)	−4.000	
	12	1+275.000	−0.700	−1.125	(0.40×0.20)	−4.000	
	13	1+285.000	−1.090	−1.515	(0.40×0.20)	−3.900	
	14	1+295.000	−1.460	−1.885	(0.40×0.20)	−3.700	
	15	1+305.000	−1.810	−2.235	(0.40×0.20)	−3.500	
	16	1+315.000	−2.140	−2.565	(0.40×0.20)	−3.300	
	17	1+325.000	−2.460	−2.875	(0.40×0.20)	−3.100	
	18	1+335.000	−2.740	−3.165	(0.40×0.20)	−2.900	
	19	1+345.000	−3.010	−3.435	(0.40×0.20)	−2.700	
	20	1+355.000	−3.260	−3.735	(0.50×0.25)	−2.500	
	21	1+365.000	−3.490	−3.965	(0.50×0.25)	−2.300	
	22	1+375.000	−3.700	−4.175	(0.50×0.25)	−2.100	
	23	1+385.000	−3.890	−4.365	(0.50×0.25)	−1.900	
	24	1+395.000	−4.060	−4.535	(0.50×0.25)	−1.700	
	25	1+400.000	−4.138	−4.613	(0.50×0.25)	−1.550	
	26	1+405.000	−4.210	−4.685	(0.50×0.25)	−1.450	
	27	1+410.000	−4.278	−4.753	(0.50×0.25)	−1.350	
	28	1+415.000	−4.340	−4.815	(0.50×0.25)	−1.250	
	29	1+420.000	−4.398	−4.873	(0.50×0.25)	−1.150	
	30	1+425.000	−4.450	−4.925	(0.50×0.25)	−1.050	
	31	1+430.000	−4.498	−4.973	(0.50×0.25)	−0.950	
	32	1+435.000	−4.540	−5.015	(0.50×0.25)	−0.850	
	33	1+440.000	−4.578	−5.052	(0.50×0.25)	−0.750	
	34	1+445.000	−4.610	−5.085	(0.50×0.25)	−0.650	
	35	1+450.000	−4.636	−5.113	(0.50×0.25)	−0.550	
	36	1+460.000	−4.677	−5.152	(0.50×0.25)	−0.400	
	37	1+465.000	−4.690	−5.165	(0.50×0.25)	−0.250	
	38	1+467.000	−4.694	−5.169	(0.50×0.25)	−0.175	
	39	1+470.000	−4.698	−5.172	(0.50×0.25)	−0.125	
	40	1+472.500	−4.699	−5.174	(0.50×0.25)	−0.075	
	41	1+475.000	−4.700	−5.172	(0.50×0.25)	0.075	

ตารางที่ 3.2 ระดับถนน

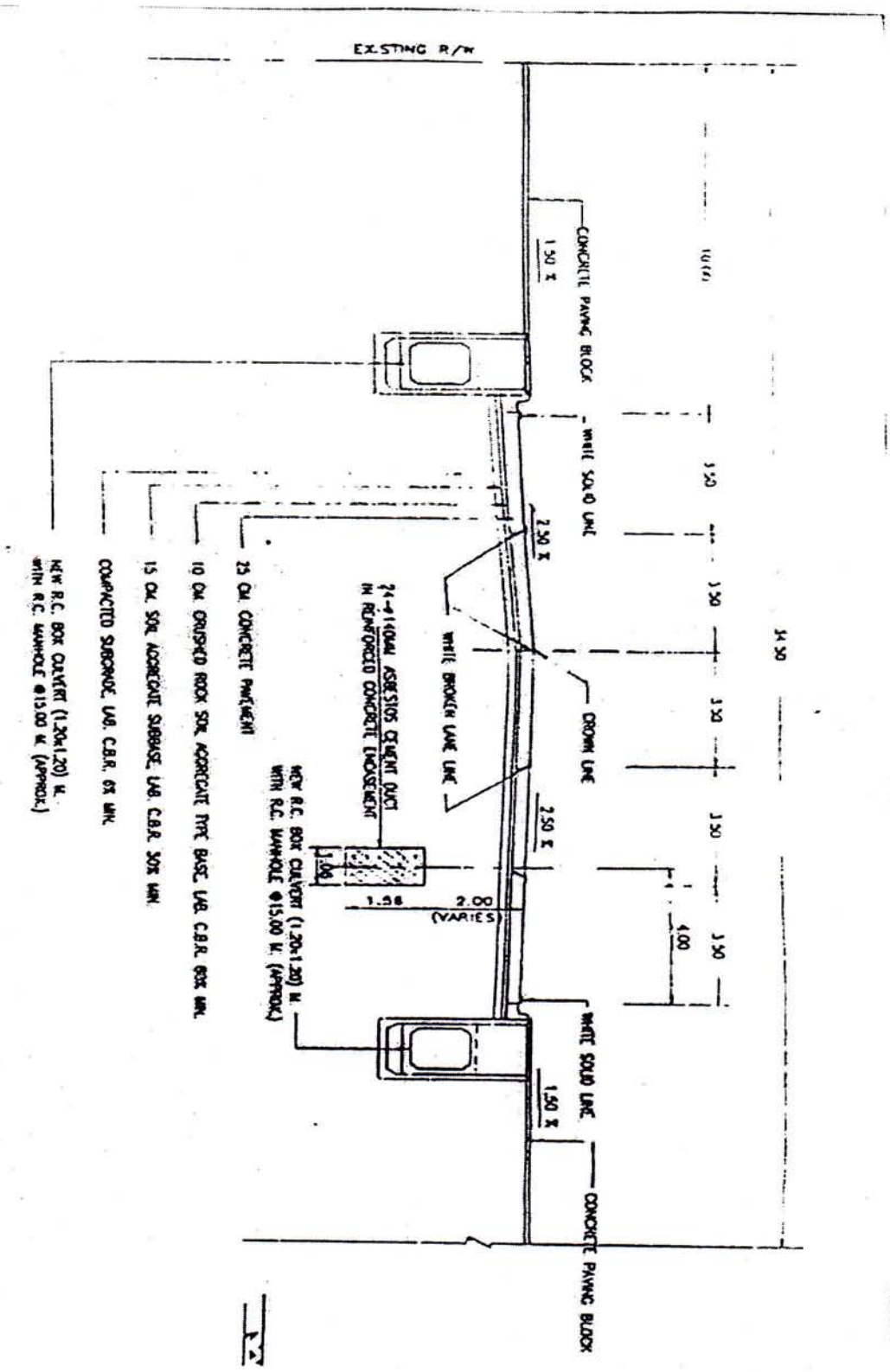
DRAIN LINE	INLET DRAIN NO.	STA.	GR.ELE.(M.)	INV.ELE.(M.)	U-DITCH SIZE (M.)	SLOPE%	REMARK
EAF	1	1+475.000	-4.700	-5.175	(0.50x0.25)		
	2	1+477.500	-4.699	-5.174	(0.50x0.25)	0.025	
	3	1+480.000	-4.698	-5.172	(0.50x0.25)	0.075	
	4	1+482.500	-4.694	-5.169	(0.50x0.25)	0.125	
	5	1+485.000	-4.690	-5.165	(0.50x0.25)	0.175	
	6	1+490.000	-4.677	-5.152	(0.50x0.25)	0.250	
	7	1+495.000	-4.660	-5.135	(0.50x0.25)	0.350	
	8	1+500.000	-4.637	-5.112	(0.50x0.25)	0.450	
	9	1+505.000	-4.610	-5.085	(0.50x0.25)	0.550	
	10	1+510.000	-4.577	-5.052	(0.50x0.25)	0.650	
	11	1+515.000	-4.540	-5.015	(0.50x0.25)	0.750	
	12	1+520.000	-4.496	-4.972	(0.50x0.25)	0.850	
	13	1+525.000	-4.450	-4.925	(0.50x0.25)	0.950	
	14	1+530.000	-4.397	-4.872	(0.50x0.25)	1.050	
	15	1+535.000	-4.340	-4.815	(0.50x0.25)	1.150	
	16	1+540.000	-4.278	-4.752	(0.50x0.25)	1.250	
	17	1+545.000	-4.210	-4.685	(0.50x0.25)	1.350	
	18	1+555.000	-4.060	-4.535	(0.50x0.25)	1.500	
	19	1+565.000	-3.890	-4.365	(0.50x0.25)	1.700	
	20	1+575.000	-3.700	-4.175	(0.50x0.25)	1.900	
	21	1+585.000	-3.490	-3.965	(0.50x0.25)	2.100	
	22	1+595.000	-3.260	-3.735	(0.50x0.25)	2.300	
	23	1+605.000	-3.010	-3.485	(0.50x0.25)	2.500	
	24	1+615.000	-2.748	-3.215	(0.50x0.25)	2.700	
	25	1+625.000	-2.450	-2.925	(0.50x0.25)	2.900	
	26	1+635.000	-2.140	-2.565	(0.40x0.20)	3.100	
	27	1+645.000	-1.810	-2.235	(0.40x0.20)	3.300	
	28	1+655.000	-1.460	-1.885	(0.40x0.20)	3.500	
	29	1+665.000	-1.090	-1.515	(0.40x0.20)	3.700	
	30	1+675.000	-0.700	-1.125	(0.40x0.20)	3.900	
	31	1+685.000	-0.300	-0.725	(0.40x0.20)	4.000	
	32	1+695.000	0.100	-0.325	(0.40x0.20)	4.000	
	33	1+705.000	0.500	0.075	(0.40x0.20)	4.000	
	34	1+715.000	0.898	0.474	(0.40x0.20)	3.981	
	35	1+725.000	1.277	0.852	(0.40x0.20)	3.775	
	36	1+735.000	1.624	1.199	(0.40x0.20)	3.476	
	37	1+745.000	1.942	1.517	(0.40x0.20)	3.177	
	38	1+755.000	2.230	1.805	(0.40x0.20)	2.877	
	39	1+765.000	2.487	2.062	(0.40x0.20)	2.578	
	40	1+775.000	2.715	2.290	(0.40x0.20)	2.279	
	41	1+785.000	2.913	2.488	(0.40x0.20)	1.979	

DRAIN LINE	INLET DRAIN NO.	STA.	GR.ELE.(M.)	INV.ELE.(M.)	U-DITCH SIZE (M.)	SLOPE%	REMARK
CAH	1	1+850.000	3.469	3.044	(0.40x0.20)		
	2	1+860.000	3.442	3.017	(0.40x0.20)	-0.268	
	3	1+870.000	3.364	2.969	(0.40x0.20)	-0.483	
	4	1+880.000	3.345	2.920	(0.40x0.20)	-0.492	
	5	1+890.000	3.295	2.870	(0.40x0.20)	-0.492	
	6	1+900.000	3.246	2.821	(0.40x0.20)	-0.492	
	7	1+910.000	3.197	2.772	(0.40x0.20)	-0.492	
	8	1+915.000	3.172	2.747	(0.40x0.20)	-0.492	
	9	1+920.000	3.148	2.723	(0.40x0.20)	-0.492	
	10	1+925.000	3.123	2.698	(0.40x0.20)	-0.492	
	11	1+930.000	3.098	2.673	(0.40x0.20)	-0.492	
	12	1+935.000	3.074	2.649	(0.40x0.20)	-0.492	
	13	1+940.000	3.049	2.624	(0.40x0.20)	-0.492	DROP INLET
	14	1+945.000	3.025	2.650	(0.40x0.15)	0.506	
	15	1+950.000	3.000	2.675	(0.40x0.15)	0.506	

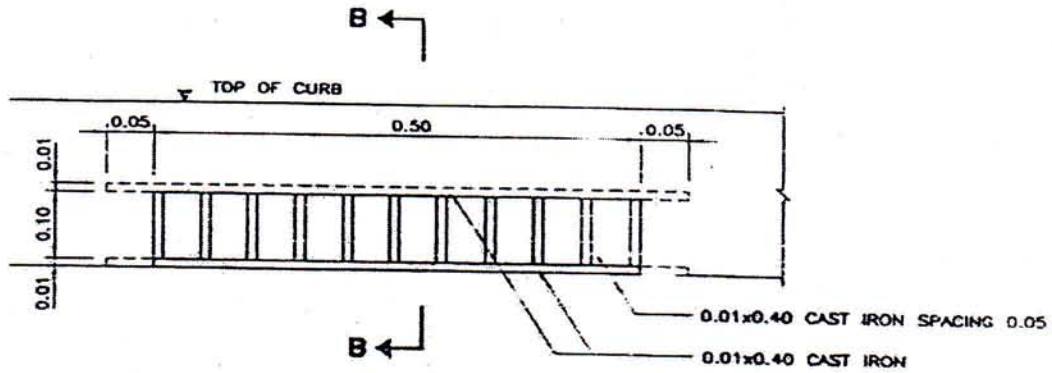
ตารางที่ 3.2 (ต่อ) ระดับถนน

ตารางที่ 3.3 เครื่องสูบน้ำไฟฟ้า

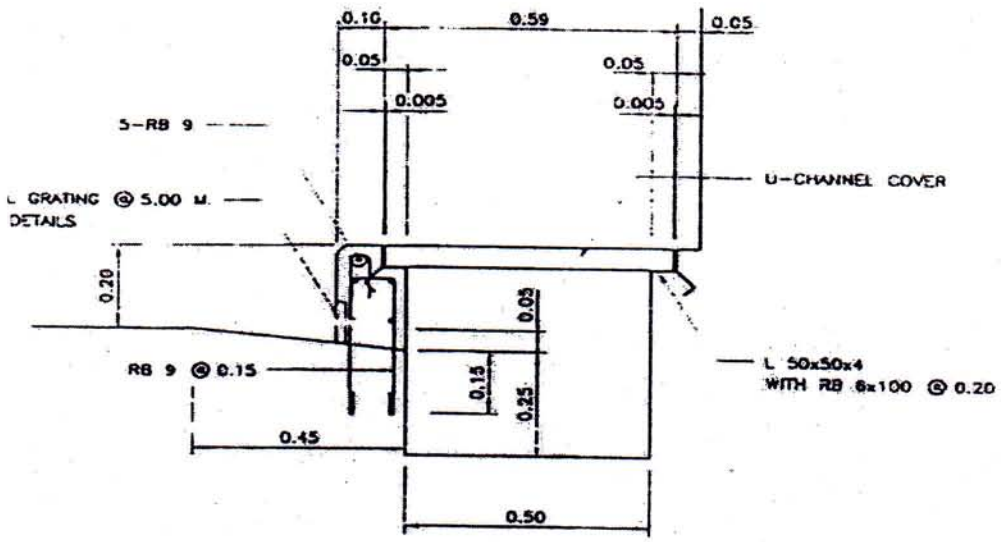
ที่	ชนิดเครื่องสูบน้ำ	ยี่ห้อ	ชนิด	รายละเอียดเครื่องสูบน้ำ		
				ขนาดท่อออก		ปริมาณการสูบ
				Øนิ้ว	Øมม.	ลิตร/วินาที ที่ ม.
1	เครื่องสูบน้ำไฟฟ้าจุ่ม-แกนดิ่ง	เคเจไอ	SA	48	1200	3000 ที่ 3 ม.
2	เครื่องสูบน้ำไฟฟ้าจุ่ม-แกนดิ่ง	คูโบต้า	SA	48	1200	3000 ที่ 3 ม.
3	เครื่องสูบน้ำไฟฟ้าจุ่ม-แกนดิ่ง	จิว	SA	48	1200	3000 ที่ 3 ม.
4	เครื่องสูบน้ำไฟฟ้าจุ่ม-แกนดิ่ง	เคเจไอ	SA	40	1000	2000 ที่ 3-4 ม.
5	เครื่องสูบน้ำไฟฟ้าจุ่ม-แกนดิ่ง	อีบาร่า	SA	40	1000	2000 ที่ 3 ม.
6	เครื่องสูบน้ำไฟฟ้าจุ่ม-แกนดิ่ง	จิว	SA	40	1000	2000 ที่ 4 ม.
7	เครื่องสูบน้ำไฟฟ้าจุ่ม-แกนดิ่ง	อีไอเอ็ม	SA	32	800	1000 ที่ 3 ม.
8	เครื่องสูบน้ำไฟฟ้าจุ่ม-แกนดิ่ง	จิว	SA	32	800	1500 ที่ 3 ม.
9	เครื่องสูบน้ำไฟฟ้าจุ่ม-แกนดิ่ง	จิว	SM	32	800	1500 ที่ 12 ม.
10	เครื่องสูบน้ำไฟฟ้าจุ่ม-แกนดิ่ง	เคเจไอ	SM	32	800	1500 ที่ 14 ม.
11	เครื่องสูบน้ำไฟฟ้าจุ่ม-แกนดิ่ง	เคเจไอ	SA	28	700	1000 ที่ 3 ม.
12	เครื่องสูบน้ำไฟฟ้าจุ่ม-แกนดิ่ง	จิว	SA	28	700	1000 ที่ 3 ม.
13	เครื่องสูบน้ำไฟฟ้าจุ่ม	ซูรูมิ	SR	24	600	1000 ที่ 3-4 ม.
14	เครื่องสูบน้ำไฟฟ้าจุ่ม	อีบาร่า	SR	24	600	1000 ที่ 3 ม.
15	เครื่องสูบน้ำไฟฟ้าจุ่ม	เคเจไอ	SR	24	600	1000 ที่ 15 ม.
16	เครื่องสูบน้ำไฟฟ้าจุ่มบนพอลทูน	เคเจไอ	SR	24	600	1000 ที่ 12 ม.
17	เครื่องสูบน้ำไฟฟ้าจุ่ม-แกนดิ่ง	อีไอเอ็ม	SA	20	500	500 ที่ 3.5 ม.
18	เครื่องสูบน้ำไฟฟ้าจุ่ม-แกนดิ่ง	อีบาร่า	SA	20	500	500 ที่ 3.5 ม.
19	เครื่องสูบน้ำไฟฟ้าจุ่ม-แกนดิ่ง	เคเจไอ	SA	20	500	500 ที่ 3 ม.
20	เครื่องสูบน้ำไฟฟ้าจุ่ม-แกนดิ่ง	จิว	SA	20	500	500 ที่ 3.5 ม.
21	เครื่องสูบน้ำไฟฟ้าจุ่ม	ซูรูมิ	SR	20	500	500 ที่ 3.5 ม.
22	เครื่องสูบน้ำไฟฟ้าจุ่ม	อีบาร่า	SR	20	500	300 ที่ 8 ม.
23	เครื่องสูบน้ำไฟฟ้าจุ่ม	เคเจไอ	SR	20	500	350 ที่ 1.5 ม.
24	เครื่องสูบน้ำไฟฟ้าจุ่ม	อีบาร่า	SR	16	400	350 ที่ 3.5 ม.
25	เครื่องสูบน้ำไฟฟ้าจุ่ม	ทีพีซี	SR	16	400	350 ที่ 3.5 ม.
26	เครื่องสูบน้ำไฟฟ้าจุ่ม-แกนดิ่ง	จอห์นตัน	VA	16	400	350 ที่ 3.5 ม.
27	เครื่องสูบน้ำไฟฟ้าจุ่ม	เคเจไอ	SR	14	350	350 ที่ 8 ม.



รูปที่ 3.6 รูปตัดถนน

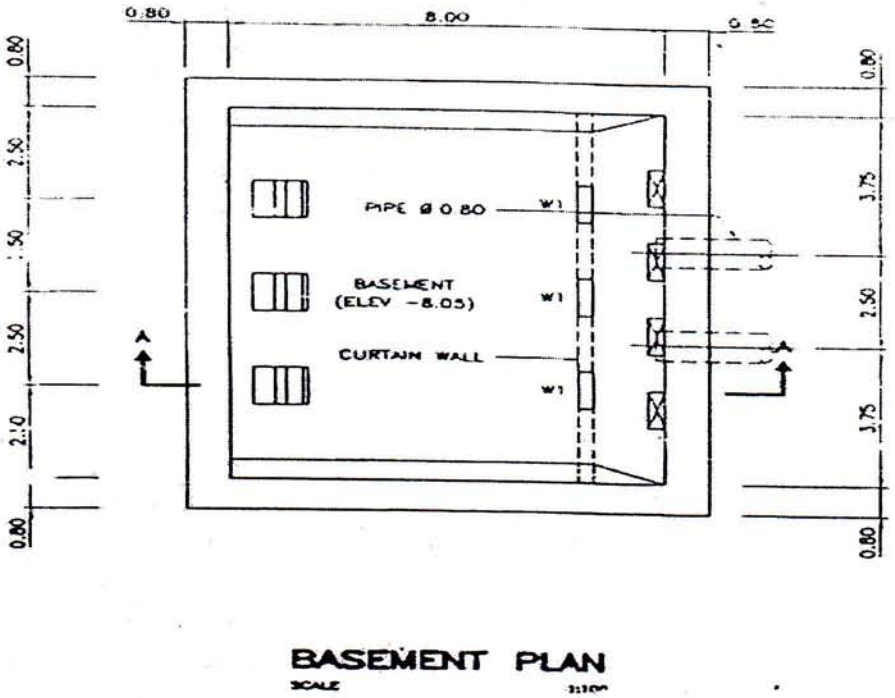


STEEL GRATING DETAIL
SCALE 1:5



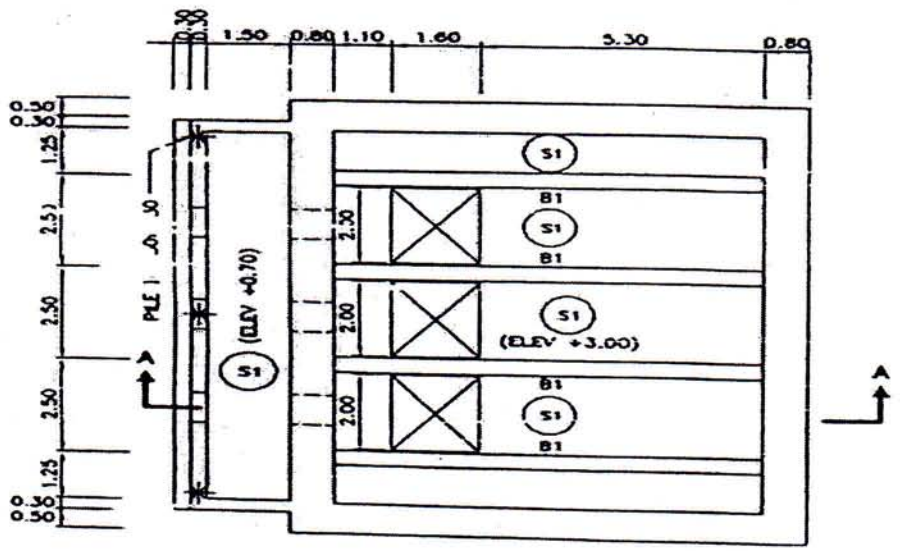
SECTION A-A
SCALE 1:10

รูปที่ 3.7 ตะแกรงเหล็กและรางระบาย



BASEMENT PLAN

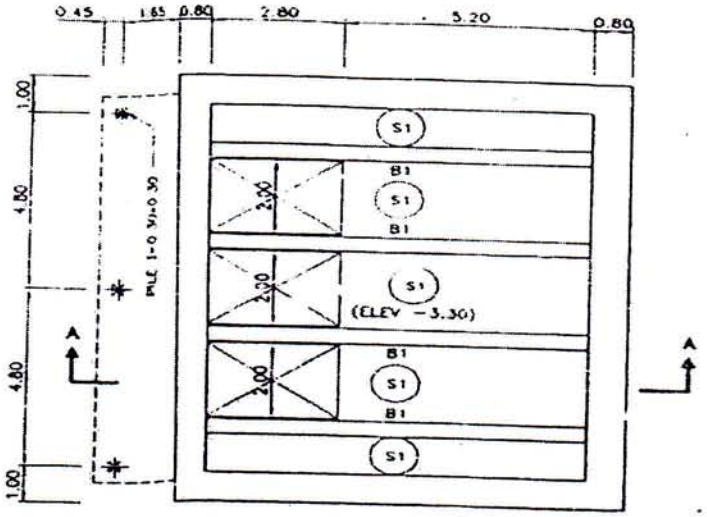
SCALE 1:100



GROUND FLOOR PLAN

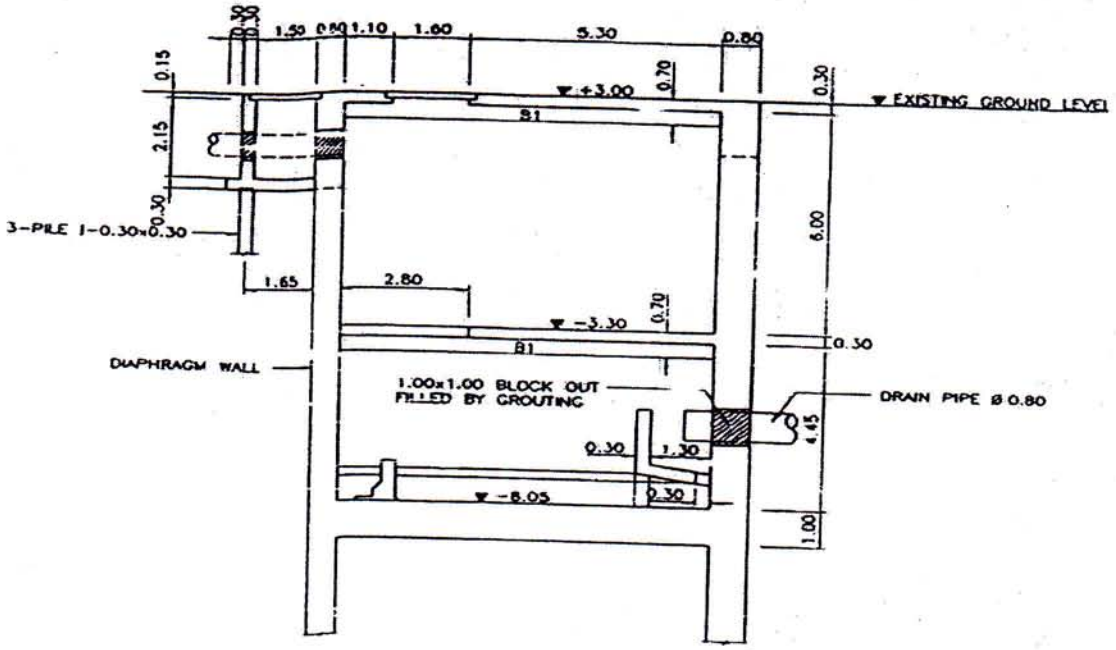
SCALE 1:100

รูปที่ 3.8.1 แบบแปลนการว่างปั๊ม



INTERMEDIATE FLOOR PLAN

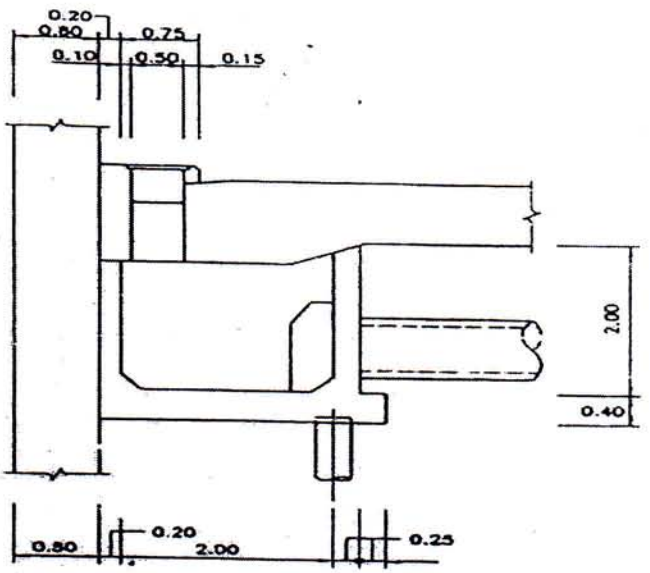
SCALE 1:100



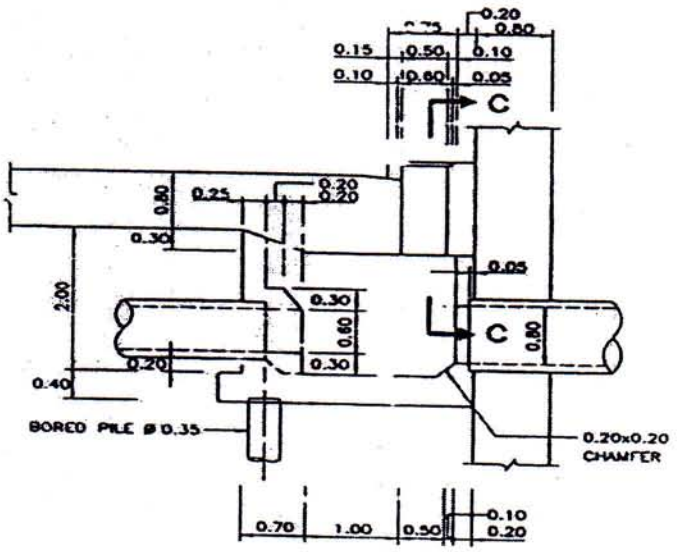
SECTION A–A

SCALE 1:100

รูปที่ 3.8.2 แบบแปลนการว่างปั๊ม(ต่อ)

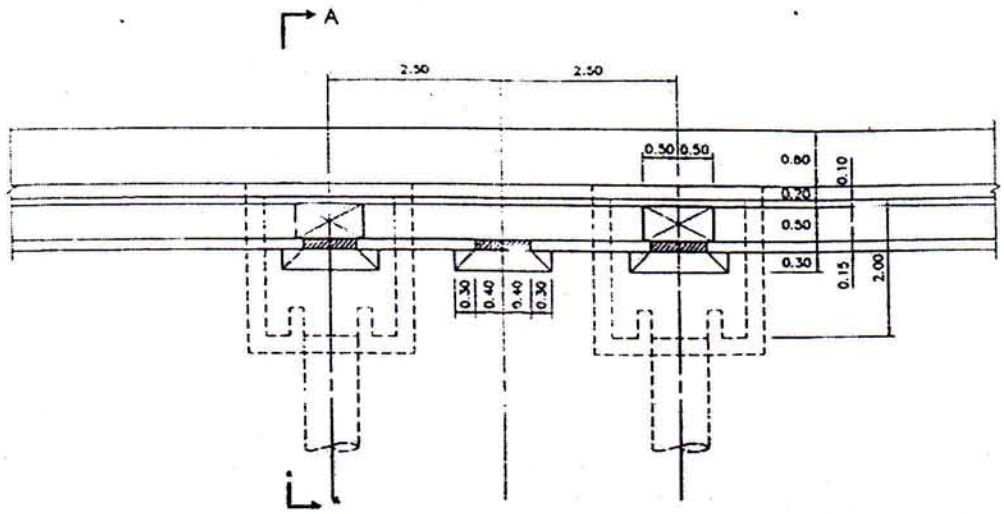


SECTION A—A
SCALE 1 : 50

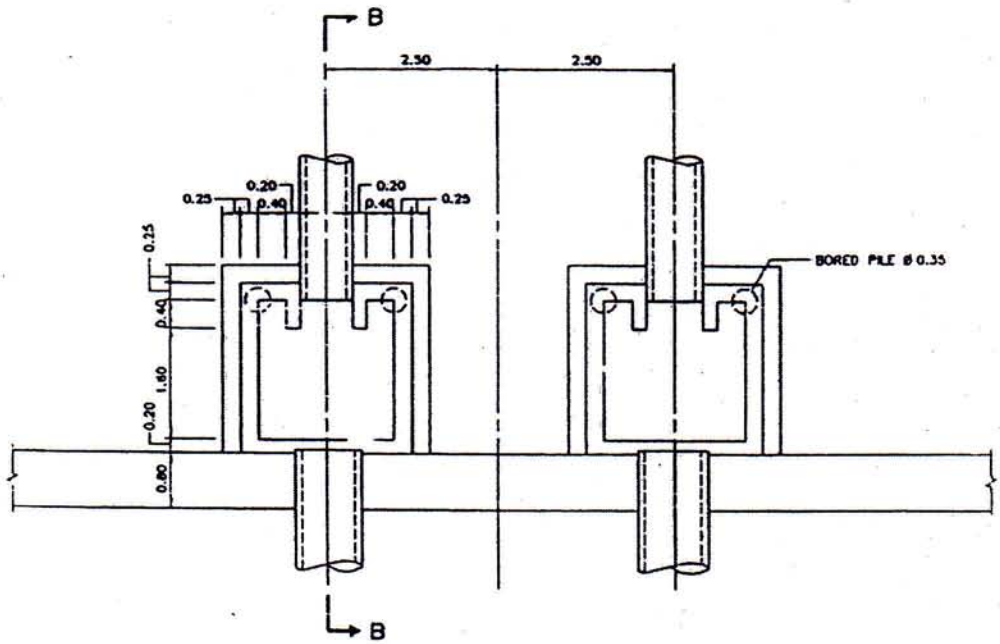


SECTION B—B
SCALE 1 : 50

รูปที่ 3.9.1 รูปตัดบ่อพัก

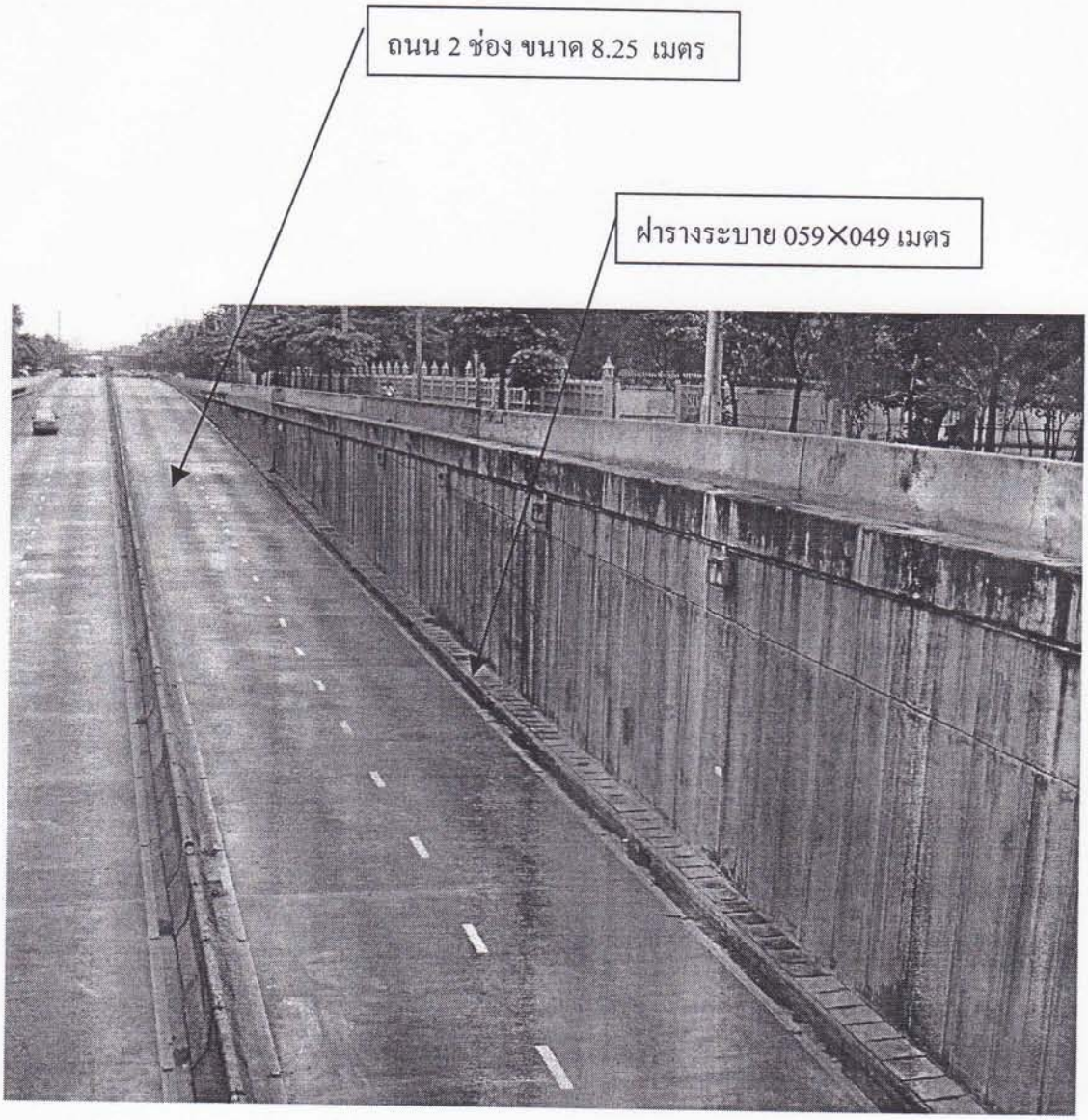


SUMP OPENNING PLAN
SCALE 1 : 50

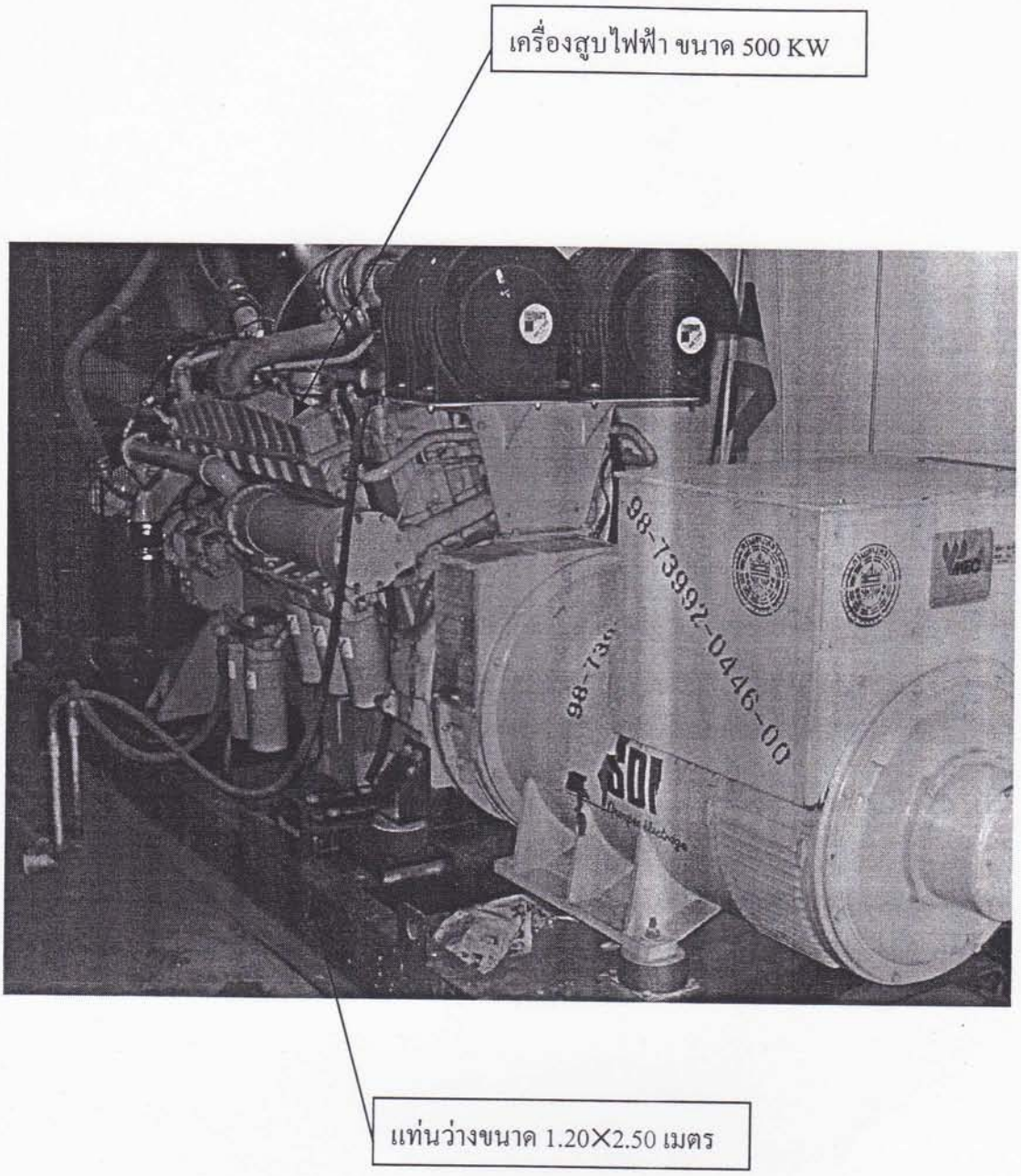


PILE LAYOUT OF SUMP TANK
SCALE 1 : 50

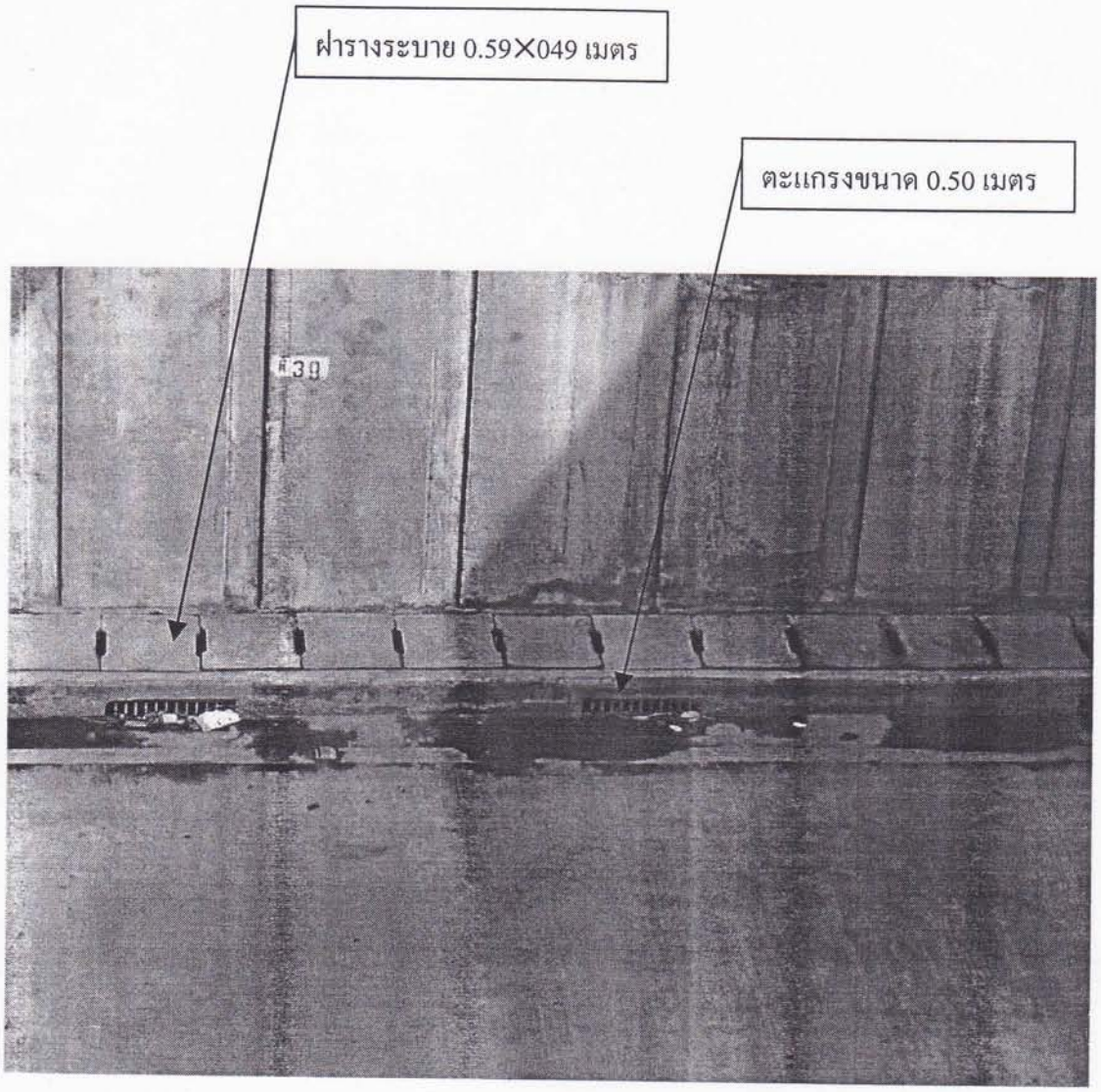
รูปที่ 3.9.2 รูปตัดบ่อพัก(ต่อ)



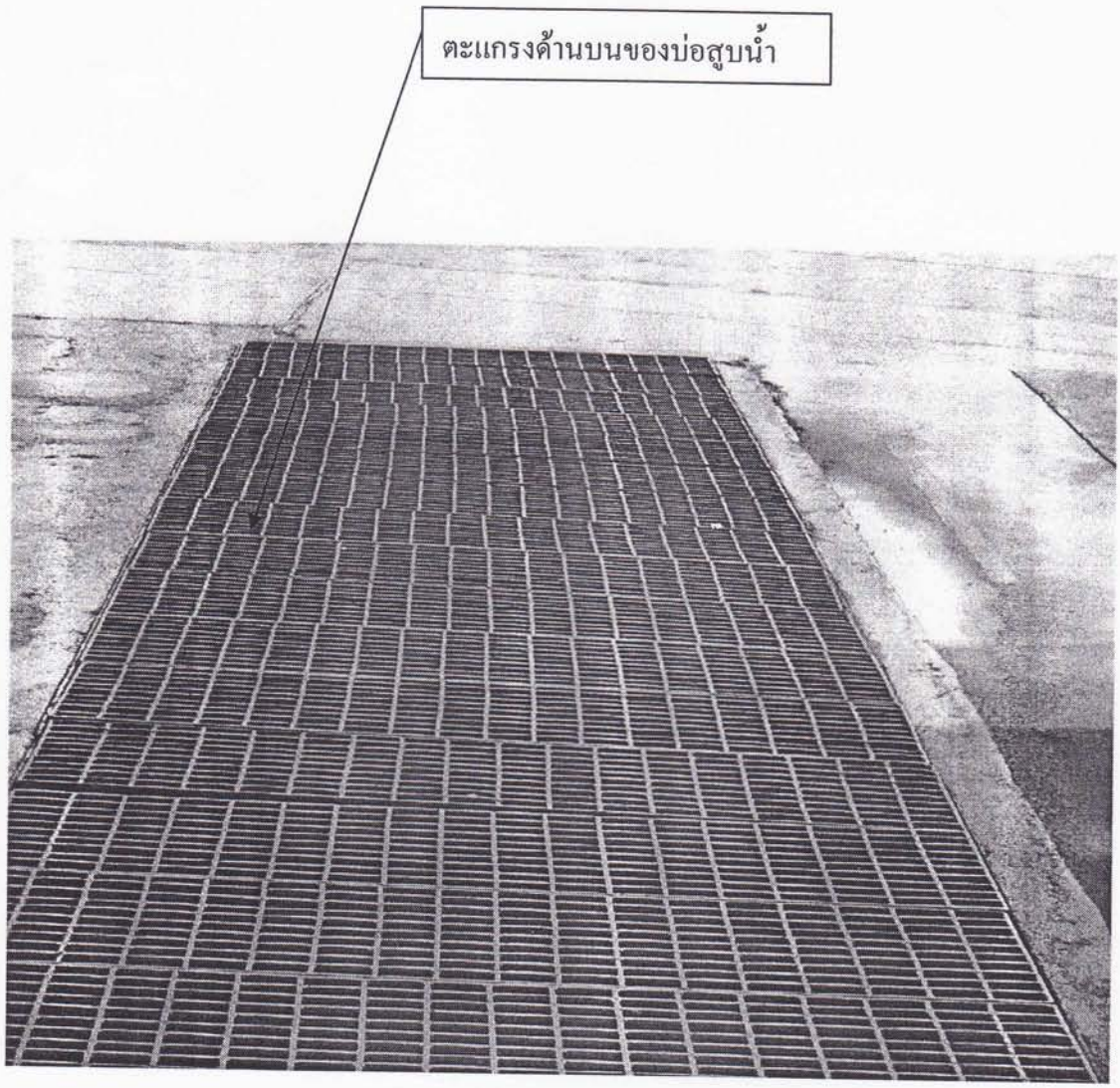
รูปทางลงมาจากวัดพระศรีฯ



รูปเครื่องสูบน้ำ



รูปตะแกรงเหล็ก



รูปตะแกรงด้านบนของบ่อสูบน้ำ